

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RICARDO VILAR NEVES

**PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS
APLICADO AO MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS CIVIS**

CURITIBA

2008

RICARDO VILAR NEVES

**PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS
APLICADO AO MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS CIVIS**

**Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo
Curso de Pós-Graduação em Ciências
Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, da
Universidade Federal do Paraná.**

Orientador:

Prof. Dr. Pedro Luis Faggion

CURITIBA

2008

***Dedico este trabalho a minha
amada e querida família: José
Luiz, Paulina, Cristiane, Laila,
Ketlynn, Caio e a minha
namorada Karlla Yamane.***

Agradecimentos

Ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas do Departamento de Geomática do Setor de Ciências da Terra, em especial à secretária Mônica pelos serviços prestados e por sua amizade.

Aos professores do Curso de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal do Paraná pela de minha formação.

Aos laboratórios LAIG, LABTOPO e pelos equipamentos e suporte fornecidos.

Agradeço de forma especial aos engenheiros Elizeu Santos Ferreira e Marcos A. Soares, ao Projeto "Automação da Instrumentação de Auscultação Geodésica de Controle e Segurança da Barragem de Salto Caxias".

A ANEEL, COPEL, LACTEC e UFPR pelos recursos financeiros da bolsa e das campanhas de levantamento e aos materiais fornecidos para apoiar o estudo.

Aos companheiros e amigos John A. Fierro, Vagner Ferreira, Marco Aurélio Debus Nadal, Ernesto Mitsuo Shibayama, Daniel Perozzo dos Santos pela ajuda, conselhos e dicas na implementação dos programas e pela grande amizade.

Aos companheiros e amigos Alessandra Svonka Palmeiro, Fabiani Abatti Miranda, Michele Beppler, Karol Jamur, Tatiana Ayako, Maria de Lurdes (Malu), Diuliana Leandro, Elmo Tanajura, Rodrigo Mickoz, Marcio Shimith, Vaneza, Sydney Oliveira, Jair Silveira (em memória) pela grande amizade.

Aos grandes amigos, Gláucio, Claryce, Mariane, Heveline e em especial a minha namorada Karlla Yamane, que me apoiou em todos os sentidos para que este trabalho fosse realizado com sucesso.

Aos bolsistas de iniciação científica e amigos, Érica S. Matos, Niarkios Graça e, César Rafael Lopes e pela enorme ajuda em campo e no processamento dos dados.

Em especial ao professor Pedro Luis Faggion pela oportunidade, confiança, amizade, à constante disponibilidade para perguntas e sugestões e pela excelente orientação. Ao Dr. Luis Augusto Koenig Veiga e Prof. Carlos Aurélio Nadal pelas valiosas idéias e sugestões que acrescentaram muito a este trabalho.

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo sobre monitoramento de estruturas com finalidade de determinar se existem deslocamentos de pontos localizados junto aos blocos que formam a barragem da Usina Hidroelétrica de Salto Caxias, localizada no município de Capitão Leonidas Marques, estado do Paraná. Utilizando uma rede geodésica formada por 4 pilares que possuem sistema de centragem forçada engastados na rocha a jusante da barragem. Sobre esta rede realizou-se observações em diferentes épocas e de posse destes dados aplicou-se o Ajustamento utilizando o método de Variação de Coordenadas, obtendo como resultado as coordenadas ajustadas dos vértices da rede e através destes constatou-se que a rede geodésica está estável ao longo do tempo. Numa segunda fase determinou-se as coordenadas dos alvos implantados junto a 3 Fissuras (Bloco 5, Bloco 8, Bloco 11) e aplicou-se testes estatísticos para avaliar os resultados obtidos e para verificar se as variações das coordenadas são significativas. Pode-se concluir baseando-se nos testes aplicados e nos resultados obtidos, que não houve deslocamentos significativos ao longo do tempo nos blocos que formam a barragem.

Palavras Chave: Monitoramento de Estruturas, Levantamentos Geodésicos, Ajustamento Método de Variação de Coordenadas, Análise de Deslocamentos.

ABSTRACT

The present work shows a study about the monitoring of structures with the finality of determining whether there are movements of points on the blocks that form the Dam of Salto Caxias Power Plant, located nearby Capitão Leônidas Marques city, Paraná state. Using a Geodetic Traverse formed of 4 pillars with forced centering system located on the rocky bed downstream of the Dam. In this Traverse it was done several observations in different epochs and then the adjustment of it by using the Coordinate Variation Method, getting as a result the adjusted coordinates of the vertexes of the traverse and so it was concluded that the Geodetic Traverse was stable along the time. On a second phase of the work, it was determined the coordinates of the targets planted close to 3 cracks (Block 5, Block 8, Block 11) also it was done statistics tests to evaluate the results and to verify whether the variations of the coordinates were significant. It can be concluded based on the applied tests and results obtained that there wasn't significant movements along the time on the blocks that form the Dam.

Key word: Structure Monitoring, Geodesic Survey, Adjustment Method of Coordinates Variation, Analysis of Movements.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	17
FIGURA 2 - EXTENSÔMETRO FIXADO JUNTO À FISSURA.....	20
FIGURA 3 - LEVANTAMENTO DE UMA POLIGONAL.....	22
FIGURA 4 - TRIANGULAÇÃO	23
FIGURA 5 - TRIANGULAÇÃO DA REDE DE EXTERNA.....	24
FIGURA 6 - TRILATERAÇÃO	24
FIGURA 7 - INTERSEÇÃO À VANTE	25
FIGURA 8 - RECESSÃO.....	26
FIGURA 9 - PROCESSOS DE IRRADIAÇÃO.....	27
FIGURA 10 - NIVELAMENTO GEOMÉTRICO MÉTODO DAS VISADAS IGUAIS ...	28
FIGURA 11 - MIRA COM CÓDIGO DE BARRAS	28
FIGURA 12 - NÍVEIS DIGITAIS NA2003 E DNA03.....	30
FIGURA 13 - ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA - LEICA 1205	30
FIGURA 14 - RESERVATÓRIO DE DIAMOND VALLEY LAKE.....	31
FIGURA 15 - REPRESENTAÇÃO DO AZIMUTE E DISTÂNCIA ENTRE DOIS PONTOS NO PLANO.....	36
FIGURA 16 - LOCALIZAÇÃO DA USINA.....	42
FIGURA 17 - REDE EXTERNA DE MONITORAMENTO (6 PONTOS)	44
FIGURA 18 - SELEÇÃO DE PONTOS DA REDE EXTERNA DE MONITORAMENTO	45
FIGURA 19 - REDE EXTERNA DE MONITORAMENTO.....	45
FIGURA 20 - MONITORAMENTO DAS FISSURAS À JUSANTE.....	46
FIGURA 21 - MONITORAMENTO DAS FISSURAS À JUSANTE.....	47
FIGURA 22 - ESTAÇÃO TOTAL TRIMBLE ELTA S20	47
FIGURA 23 - DETALHE DO ALVO SOBRE O PILAR.....	48
FIGURA 24 - DETALHE DO PRISMA SOBRE O PILAR	49
FIGURA 25 - BARÔMETRO ANERÓIDE E PSICOMETRO.....	49
FIGURA 26 - ESTAÇÃO TOTAL LEICA TCRA 1205	53
FIGURA 27 - MONITORAMENTO DAS FISSURAS À JUSANTE.....	54
FIGURA 29 - ALVOS A JUSANTE DA BARRAGEM.....	55

FIGURA 30 - FISSURAS A MONTANTE OBSERVADAS A PARTIR DA ESTAÇÃO MGE 06	56
FIGURA 31 - POSICIONAMENTO DOS ALVOS À MONTANTE DA BARRAGEM ..	56
FIGURA 32 - ARQUIVO COM OS DADOS RECEBIDOS DA ESTAÇÃO	59
FIGURA 33 - TELA DO PROGRAMA - CORREÇÃO ATMOSFÉRICA.....	60
FIGURA 34 - TELA DO PROGRAMA - CADERNETA	61
FIGURA 35 - TELA DO PROGRAMA - COORDENADAS	61
FIGURA 36 - RELATÓRIO FINAL DAS COORDENADAS	62
FIGURA 37 - SISTEMA DE REFERENCIA LOCAL	63
FIGURA 38 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 1 À JUSANTE.....	78
FIGURA 39 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À JUSANTE.....	79
FIGURA 40 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 3 À JUSANTE.....	79
FIGURA 41 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 1 À JUSANTE.....	80
FIGURA 42 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À JUSANTE.....	80
FIGURA 43 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 3 À JUSANTE.....	80
FIGURA 44 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 1 À JUSANTE.....	81
FIGURA 45 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À JUSANTE.....	81
FIGURA 46 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 3 À JUSANTE.....	82
FIGURA 47 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 1 À MONTANTE ...	87
FIGURA 48 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À MONTANTE ...	87
FIGURA 49 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 3 À MONTANTE ...	87
FIGURA 50 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 1 À MONTANTE ...	88
FIGURA 51 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À MONTANTE ...	88
FIGURA 52 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À MONTANTE ...	89
FIGURA 53 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 1 À MONTANTE ...	89
FIGURA 54 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À MONTANTE ...	90
FIGURA 55 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À MONTANTE ...	90

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COORDENADAS APROXIMADAS DA REDE EXTERNA À JUSANTE	64
TABELA 2 - COORDENADAS AJUSTADAS DA REDE EXTERNA À JUSANTE – OUTUBRO/06	67
TABELA 3 - COORDENADAS AJUSTADAS DE TODAS AS CAMPANHAS DA REDE EXTERNA À JUSANTE	68
TABELA 4 - DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS AJUSTADAS DE TODAS AS CAMPANHAS DA REDE EXTERNA À JUSANTE	68
TABELA 5 - REDE EXTERNA À JUSANTE - TESTE DE FISHER	69
TABELA 6 - COORDENADAS APROXIMADAS DA REDE EXTERNA À MONTANTE	70
TABELA 7 - COORDENADAS AJUSTADAS DA REDE EXTERNA À MONTANTE	72
TABELA 8 - COORDENADAS AJUSTADAS DAS CAMPANHAS DA REDE EXTERNA À MONTANTE	72
TABELA 9 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS AJUSTADAS ENTRE AS CAMPANHAS DA REDE EXTERNA À MONTANTE	72
TABELA 10 - REDE EXTERNA A MONTANTE - TESTE DE FISHER	73
TABELA 11 - COORDENADAS DA FISSURA 1 (BLOCO 5) À JUSANTE - OUTUBRO/06	74
TABELA 12 - COORDENADAS DA FISSURA 2 (BLOCO 8) À JUSANTE - OUTUBRO/06	74
TABELA 13 - COORDENADAS DA FISSURA 3 (BLOCO 11) À JUSANTE - OUTUBRO/06	74
TABELA 14 - COORDENADAS DA FISSURA 1 (BLOCO 5) À JUSANTE - FEVEREIRO/07.....	75
TABELA 15 - COORDENADAS DA FISSURA 2 (BLOCO 8) À JUSANTE – FEVEREIRO/07.....	75
TABELA 16 - COORDENADAS DA FISSURA 3 (BLOCO 11) À JUSANTE – FEVEREIRO/07.....	75
TABELA 17 - COORDENADAS DA FISSURA 1 (BLOCO 5) À JUSANTE - MAIO/07	76

TABELA 18 - COORDENADAS DA FISSURA 2 (BLOCO 8) À JUSANTE - MAIO/07	76
TABELA 19 - COORDENADAS DA FISSURA 3 (BLOCO 11) À JUSANTE - MAIO/07	76
TABELA 20 - COORDENADAS DA FISSURA 1 (BLOCO 5) À JUSANTE - OUTUBRO/07	77
TABELA 21 - COORDENADAS DA FISSURA 2 (BLOCO 8) À JUSANTE - OUTUBRO/07	77
TABELA 22 - COORDENADAS DA FISSURA 3 (BLOCO 11) À JUSANTE - OUTUBRO/07	77
TABELA 23 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DAS FISSURAS À JUSANTE - OUTUBRO/06 E OUTUBRO/07	78
TABELA 24 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DAS FISSURAS À JUSANTE - FEVEREIRO/07 E MAIO/07	79
TABELA 25 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DAS FISSURAS À JUSANTE - OUTUBRO/06 E MAIO/07	81
TABELA 26 - COORDENADAS DA FISSURA 1 (BLOCO 5) À MONTANTE - TODAS AS ÉPOCAS.....	85
TABELA 27 - COORDENADAS DA FISSURA 2 (BLOCO 8) À MONTANTE - TODAS AS ÉPOCAS.....	85
TABELA 28 - COORDENADAS DA FISSURA 3 (BLOCO 11) À MONTANTE - TODAS AS ÉPOCAS	86
TABELA 29 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DAS FISSURAS À MONTANTE - OUTUBRO/06 E OUTUBRO/07	86
TABELA 30 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DAS FISSURAS À MONTANTE - FEVEREIRO/07 E MAIO/07	88
TABELA 31 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DAS FISSURAS À MONTANTE - OUTUBRO/06 E MAIO/07	89

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 GEODÉSIA APLICADA AO MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS	16
2.1.1 Sistemas de Monitoramento de Grandes Barragens.....	16
2.1.2 Monitoramento Físico.....	19
2.1.3 Monitoramento Geodésico	21
2.1.3.1 Métodos Geodésicos Utilizados	21
2.1.4 Automação na Coleta de Dados Geodésicos.....	29
2.2 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES APLICADO A REDES GEODESICAS ...	31
2.2.1 Método dos Mínimos Quadrados	32
2.2.1.1 Solução Matemática	33
2.2.2 Método de Variação de Coordenadas	35
2.2.3 Estatística Aplicada a Análise dos Resultados.....	40
3 METODOLOGIA.....	42
3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	42
3.1.1 Localização	42
3.2 DESCRIÇÃO DA REDE EXTERNA DE MONITORAMENTO	43
3.2.1 Rede de Monitoramento Externa à Jusante	44
3.2.2 Rede de Monitoramento Externa à Montante.....	46
3.2.3 Equipamentos e materiais necessários para o levantamento da rede externa	47
3.2.4 Procedimentos para a Realização das Medições da Rede Externa.....	50
3.3 DESCRIÇÃO do MONITORAMENTO DAS FISSURAS.....	52
3.3.1 Monitoramento das Fissuras à Jusante.....	53
3.3.2 Monitoramento das Fissuras à Montante	55
3.4 AJUSTAMENTO APLICADO NA OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DA REDE EXTERNA	57
3.5 CÁLCULOS DAS COORDENADAS DAS FISSURAS.....	58

3.5.1 Implementação dos Programas.....	59
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
4.1 RESULTADO DA REDE DE CONTROLE (REDE EXTERNA).....	63
4.1.1 Rede Externa à Jusante	64
4.1.2 Rede Externa à Montante.....	69
4.2 RESULTADO DAS FISSURAS (Blocos)	73
4.2.1 Fissuras à Jusante	73
4.2.2 Fissuras à Montante.....	85
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	92
5.1 CONCLUSÕES	92
5.2 RECOMENDAÇÕES.....	93
6 REFERÊNCIAS.....	94

1 INTRODUÇÃO

Atualmente uma das tarefas mais importantes nas Usinas Hidroelétricas é o monitoramento de pontos para determinar mudanças em corpos deformáveis, seja em forma, dimensão ou posição. Estes deslocamentos são detectados, principalmente pelas variações de coordenadas dos pontos observados. Existem vários métodos para avaliar estes movimentos sendo que os mais conhecidos são os métodos geodésicos e os estruturais.

Desde 1998, um grupo de pesquisadores ligados ao curso de pós-graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná (UFPR) vem trabalhando no monitoramento da usina hidroelétrica de Salto Caxias, localizada na região sudoeste do estado do Paraná, sendo esta a última grande barragem do Rio Iguaçu. Os primeiros estudos foram concentrados na auscultação geodésica utilizando técnicas de levantamento geodésico (nivelamento geométrico e gravimetria) objetivando a determinação da subsidência da crosta terrestre na região próxima ao reservatório. Para tal, determinou-se o desnível entre 84 referências de nível (RN's) implantadas junto à malha viária à direita e à esquerda do reservatório antes e depois da formação do mesmo. Os resultados apresentaram uma subsidência de cerca de 3 cm junto ao reservatório (GRANEMANN, 2005).

Considerando que a barragem de Salto Caxias é uma das maiores do Brasil construída utilizando Concreto Compactado a Rolo (CCR), iniciou-se um projeto de pesquisa e desenvolvimento financiado pela Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANNEE) e pela Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL) objetivando determinar a estabilidade da mesma utilizando técnicas geodésicas.

Na bibliografia pesquisada sobre redes de monitoramento de estruturas, os procedimentos são divididos em quatro etapas (SILVA, 1997).

A primeira, denominada especificação, requer um conhecimento *a priori* da grandeza dos movimentos, o qual é também, uma condição para estabelecer quais equipamentos devem ser utilizados.

A segunda etapa, denominada concepção, visa atingir a melhor configuração da rede de controle e dos pontos a serem monitorados.

A terceira etapa, denominada implementação, é a etapa de maior custo, pois envolve técnicas de medição e implantação de sistemas de centragem forçada para a instalação dos instrumentos.

A quarta etapa, denominada análise, é a etapa na qual as observações são calculadas e estatisticamente analisadas visando determinar as reais variações das coordenadas.

A proposta desse trabalho é, a partir de uma rede geodésica composta de seis pilares, implantados a jusante da barragem, calcular e analisar os dados e desenvolver um sistema automatizado que calcule as coordenadas dos alvos implantados junto às Fissuras (Blocos) em diferentes épocas, armazenando em um banco de dados, comparando as coordenadas obtidas em épocas distintas e posteriormente avaliar possíveis deslocamentos da estrutura.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Processamento e análise de levantamentos geodésicos aplicados ao monitoramento de estruturas civis.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Formatar (decodificar) os dados (ângulos zenitais, direções horizontais e distâncias lineares) enviados pela estação total através de um *link* de rádio;
- Criar rotinas computacionais utilizando a plataforma *MATLAB* com finalidade de criar um banco de dados objetivando a organização e armazenamento das observações realizadas pela estação total;
- Realizar uma pré-análise dos dados e da propagação de erros;

- Aplicar os conceitos de Ajustamento de Observações pelo método de Variação de Coordenadas dos vértices da rede geodésica (rede externa);
- Calcular as coordenadas dos alvos localizados junto aos blocos que formam a barragem a partir da rede geodésica de controle (rede externa);
- Aplicar testes estatísticos objetivando obter a qualidade das coordenadas obtidas para os vértices da rede geodésica externa;
- Analisar os possíveis deslocamentos dos pontos de monitoramento através da comparação de coordenadas obtidas em épocas distintas;

1.2 JUSTIFICATIVA

Na atualidade são poucos os processos automatizados aplicando técnicas geodésicas no monitoramento de estruturas civis. Em função disso busca-se desenvolver uma metodologia para a automação do processamento e análise dos dados verificando a existência de possíveis deslocamentos em estruturas empregando técnicas geodésicas.

Durante o enchimento do reservatório, fase de maior risco em função da acomodação das estruturas com os esforços provocados pelo acúmulo de água, e em toda a vida útil da barragem, é fundamental o monitoramento. Porém com as técnicas atuais o observador está sujeito a acidentes provocados pela possível ruptura da barragem. A automação na coleta, processamento e análise dos resultados, proposto por esse trabalho, busca minimizar esses riscos além de isentar os dados coletados de erros provocados pelo observador.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 GEODÉSIA APLICADA AO MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS

2.1.1 Sistemas de Monitoramento de Grandes Barragens

Com os constantes avanços tecnológicos no ramo da construção civil, uma nova geração de grandes obras está encontrando seu lugar em um mercado cuja necessidade de produção é cada vez maior. Produção esta, que não fica restrita ao campo de serviços, ou beneficiamento de produtos, mas também e, principalmente, no campo de geração de energia, matéria base para o desenvolvimento de diversos setores.

No que diz respeito à execução de monitoramento de estruturas, VISEU e ALMEIDA (2000) alertam para necessidade da periodicidade e especialização dos envolvidos na atividade, bem como para a automação na aquisição dos dados: a instrumentação pode ser pouco útil para a monitorização da segurança da barragem se não existir uma organização com recursos humanos e orçamentos suficientes para realizar as leituras e analisar os resultados em tempo útil. O estudo de um sistema de aquisição automática de dados tem que se basear no plano de observação da barragem ou, no caso de uma barragem já existente, no conhecimento do plano de observação existente, das características da barragem e, em particular, do comportamento anterior. A seleção das grandezas a medir pressupõe ter-se realizado uma análise do comportamento da barragem, sendo o conhecimento desta que permite definir a concepção do sistema de aquisição automática, tendo em conta a distribuição dos pontos de medição e as distâncias envolvidas.

Monitorar uma estrutura do ponto de vista do posicionamento geodésico, significa determinar e comparar as coordenadas de pontos em duas épocas distintas, e verificar se, dentro de um certo nível de confiabilidade (significância), houveram variações significativas nestas coordenadas (SILVEIRA, 2003).

O monitoramento pode ser planimétrico quando se avaliam os deslocamentos no plano horizontal, altimétrico quando se avaliam os deslocamentos verticais e planialtimétrico ou tridimensional quando são avaliados de forma global todos os deslocamentos. Desta forma o monitoramento geodésico de uma estrutura envolve a realização de campanhas periódicas de observação dos pontos de interesse implantados na estrutura onde se deseja verificar a existência de possíveis deslocamentos.

Antigamente, no início dos levantamentos geodésicos, mediam-se direções horizontais e ângulos verticais utilizando teodolitos, e as distâncias eram medidas com trena. A partir da década de 60 com distanciômetros ópticos.

Porém, com o desenvolvimento da microeletrônica surgiram as Estações Totais, que agregam um medidor eletrônico de direções, distâncias, um sensor de inclinação e um processador matemático que associa as informações angulares e lineares para calcular as coordenadas tridimensionais (X,Y,Z). A evolução instrumental é exemplificada na figura a seguir (Figura 1).



FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

FONTE: O autor (2008)

Segundo LUTES, (2001) o monitoramento de grandes estruturas divide-se em duas partes:

- métodos geotécnicos ou físicos;
- métodos geodésicos de monitoramento,

Esta denominação foi utilizada no monitoramento dos reservatórios do Diamond Valley Lake, o maior projeto desta área, no sul da Califórnia, EUA.

CHAVES (1994) classifica os métodos de monitoramento em outras duas categorias: os métodos geodésicos e os não geodésicos. Os geodésicos compreendem os métodos geodésicos terrestres, métodos fotogramétricos e técnicas espaciais. Ainda segundo o autor, os métodos não geodésicos abrangem os métodos geotécnicos e projetos especializados.

Métodos geodésicos são primeiramente utilizados para detectar movimentos absolutos. Da mesma forma, DEPARTMENT OF THE ARMY (1994) enfatiza que os levantamentos geodésicos têm sido utilizados tradicional e principalmente para a determinação de deslocamentos absolutos de pontos selecionados sobre a superfície do objeto com respeito a alguns pontos de referência considerados estáveis.

As técnicas de mensuração geodésicas visam determinar se um ponto ou conjunto destes sofre variação em suas coordenadas ao longo do tempo, ou seja, se houve algum deslocamento dos mesmos.

De acordo com SILVEIRA (2003), a Associação Internacional de Construção de Barragens tem recomendado que 0,7 % do custo total da construção da barragem seja gasto em levantamentos geodésicos.

Em contrapartida o autor apresenta o que chama de alguns obstáculos: a complexidade de medição requer a presença de muitos operadores durante vários dias, o que é muito difícil e caro adotar métodos geodésicos para monitoramento contínuo.

Segundo DEPARTMENT OF THE ARMY (1994, p.9-9) cada tipo de levantamento apresenta suas vantagens e desvantagens. Levantamentos geodésicos utilizando uma rede de pontos interconectados por ângulos e ou medidas de distância, usualmente proporcionam suficiente redundância de observações para análises estatísticas de qualidade e detecção de erros. Ainda segundo o autor, esta técnica proporciona informações globais sobre o comportamento do objeto deformável, enquanto as medições geotécnicas

proporcionam informações localizadas e, muito freqüentemente, informações locais sem qualquer verificação a não ser a comparação com outras medidas independentes. Em contrapartida, os instrumentos geotécnicos são mais fáceis de uma adaptação para fins de automação e monitoramento contínuo, já os levantamentos geodésicos terrestres convencionais são mais trabalhosos e requerem operadores treinados.

As experiências do grupo de pesquisa da Universidade Federal do Paraná (UFPR), vinculado ao projeto Automação da Integração da Auscultação Geodésica com a Instrumentação de Controle e Segurança da Usina de Salto Caxias, têm demonstrado que com a evolução dos equipamentos (estações totais e níveis digitais) a agilidade na execução dos levantamentos tem diminuído o tempo de coleta e processamento dos dados em mais de 50%. Busca-se aumentar este índice para evitar a exposição do operador em áreas de risco.

Com o desenvolvimento do sistema de automação proposto por este trabalho e pela dissertação de mestrado que está sendo desenvolvida paralelamente a esta, pelo mestrando Marco Aurélio Nadal, cujo título é “Controle e Operação Remota de Estações Totais Robotizadas Voltado a Auscultação Geodésica”, pretende-se a total automação na coleta, processamento e análise dos dados, reduzindo a praticamente zero os riscos de acidentes com o operador e erros de observação na coleta dos dados, tornando os métodos geodésicos altamente indicados para o monitoramento de estruturas civis.

2.1.2 Monitoramento Físico

Esta denominação é empregada no que diz respeito às técnicas de monitoramento da estrutura física em grandes obras onde no corpo estrutural das mesmas são implantados diversos tipos de sensores que tem por finalidade detectar eventuais deformações oriundas tanto da acomodação das tensões internas da estrutura, quanto de forças externas à mesma.

PRETORIUS et. al (2001, p.209) afirmam que as principais fontes de deformação observadas na barragem de Katse, África do Sul, são:

- Sazonalidade de chuvas e temperaturas provocando deformações elásticas;
- Deformações ao longo do tempo, as quais são classificadas como deformações plásticas ou de longa duração.

De acordo com KAHMEN (1988, p.565), os métodos físicos são utilizados primeiramente para detectar movimentos relativos, como o uso de pêndulos, extensômetros, entre outros.

O DEPARTMENT OF THE ARMY (1994, p.9.9) diz que as medidas geotécnicas e estruturais do local da deformação são realizadas utilizando inclinômetro, extensômetro, fio de prumo, etc.

A figura 2 mostra um extensômetro utilizado no monitoramento físico de barragens.

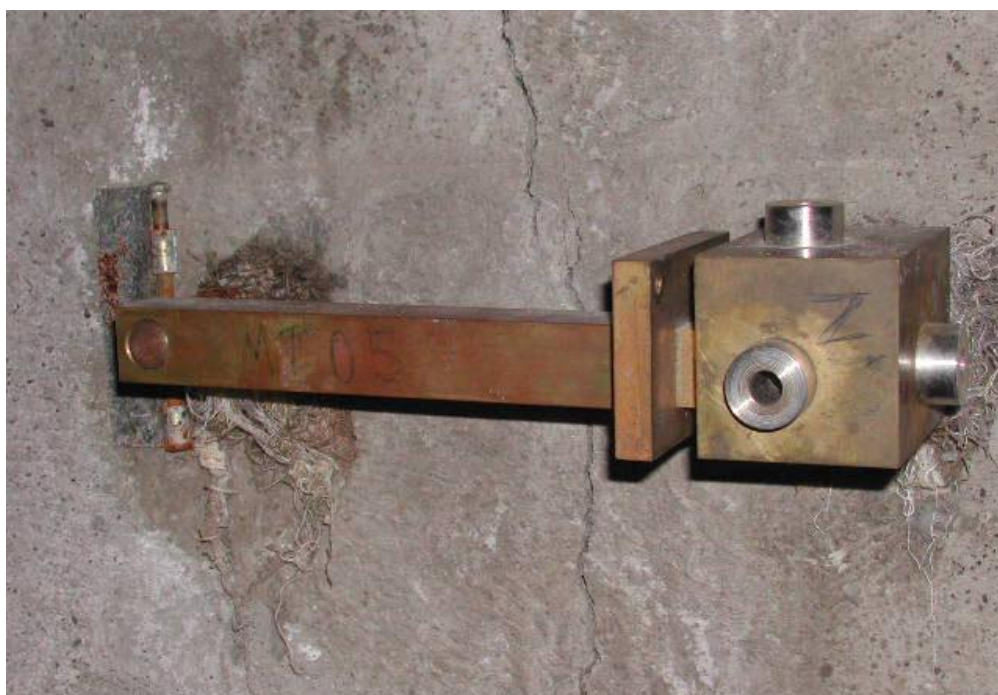


FIGURA 2 - EXTENSÔMETRO FIXADO JUNTO À FISSURA

FONTE: O autor (2008)

2.1.3 Monitoramento Geodésico

Nesta técnica de monitoramento, procura-se empregar métodos e equipamentos comumente utilizados para topografia e geodésia em geral, onde como produto final observa-se movimentos relativos entre pontos com coordenadas distintas, sendo pelo menos um na estrutura que se deseja monitorar e outro como referência situado fora da área de influência do objeto monitorado.

Caso não seja possível monitorar a estrutura a partir de um marco geodésico que esteja localizado fora da área de influencia da obra em questão, instala-se um marco geodésico próximo à estrutura e monitora-se sua estabilidade, utilizando técnicas de geodésia espacial, por exemplo, Sistema de Posicionamento Global (GPS), ou utiliza-se redes de referencia externas à área de influencia.

Em trabalho publicado por DEPARTMENT OF THE ARMY (1994) é enfatizado que os levantamentos geodésicos tradicionais têm sido utilizados principalmente para a determinação de deslocamentos absolutos de pontos selecionados sobre a superfície do objeto com respeito a alguns pontos de referência considerados estáveis.

CHAVES (1994, p.53) destaca algumas vantagens dos métodos geodésicos:

- a) Fornecem o estado global de um corpo deformável;
- b) Contém o esquema próprio de verificar os resultados e são capazes de avaliar a exatidão da medição globalmente;
- c) Fornecem versatilidade e adequabilidade para qualquer meio-ambiente e situação de operação.

2.1.3.1 Métodos Geodésicos Utilizados

A determinação de coordenadas de pontos empregando-se técnicas geodésicas convencionais está fundamentada na medição de grandezas como direções horizontais, angulos verticais, distâncias e desníveis, a partir das quais, indiretamente é possível computar as coordenadas de um ponto (KAHMEN et al,

1988). Para tanto são empregados métodos como poligonação, trilateração e triangulação, nivelamento geométrico e irradiação.

- Poligonação

A poligonação é um dos métodos mais empregados para a determinação de coordenadas de pontos em topografia, principalmente para a definição de pontos de apoio planimétricos. Uma poligonal é uma série de linhas consecutivas para as quais são conhecidos os comprimentos e direções, obtidos através de medições em campo (KAHMEN et al, 1988).

O levantamento de uma poligonal é realizado através do método de caminhamento, percorrendo-se o contorno de um itinerário definido por uma série de pontos, medindo-se todas as direções, lados e uma orientação inicial (Figura 3). A partir destes dados e de uma coordenada de partida, é possível calcular as coordenadas de todos os pontos que formam esta poligonal (VEIGA et al, 2007).

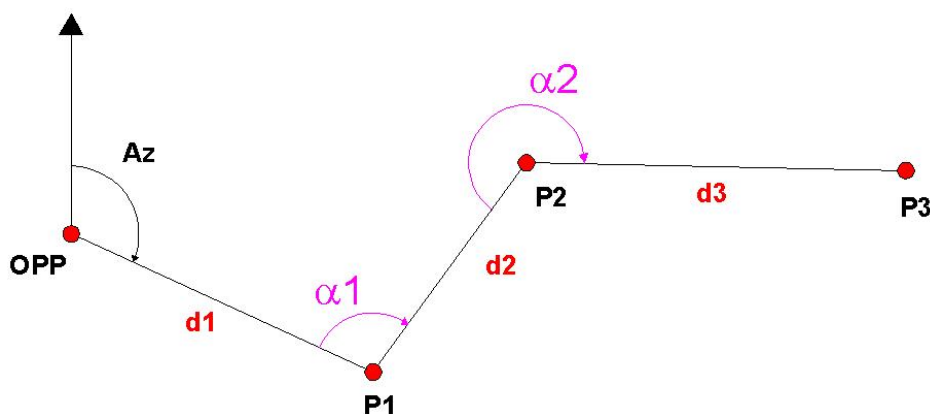


FIGURA 3 - LEVANTAMENTO DE UMA POLIGONAL

FONTE: O autor (2008)

Este método pode ser aplicado, por exemplo, para o levantamento de galerias ou quando os pontos a serem controlados estão próximos uns dos outros (CHAVES, 1994, p.68).

- Triangulação e Trilateração

O método de triangulação é um dos métodos mais antigos utilizados para a determinação de coordenadas planimétricas de pontos. De acordo com BRASIL (1983, p.6), entende-se por triangulação o procedimento em que se obtêm figuras geométricas a partir de triângulos justapostos ou sobrepostos, formados através da medição dos ângulos subentendidos por cada vértice. Adicionalmente à medição dos ângulos existe a necessidade de se estabelecer a escala da triangulação, que é realizada através da determinação de uma distância conhecida, denominada de base. A figura 4 apresenta um exemplo de triangulação.

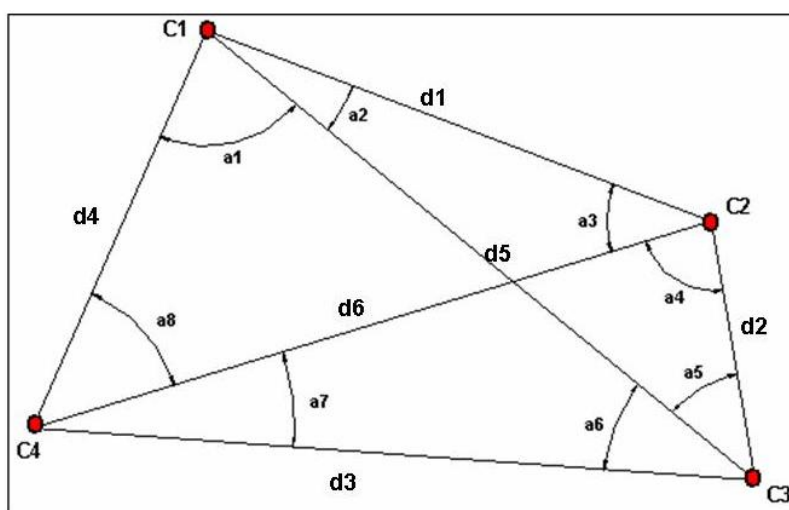


FIGURA 4 - TRIANGULAÇÃO

FONTE: O autor (2008)

Onde:

a_i = ângulos internos;

d_i = distância entre os vértices.

A triangulação tem sido uma técnica amplamente empregada para fins de monitoramento de estruturas.

A figura 5 apresenta um esquema de rede de triangulação que está sendo utilizado para determinar a estabilidade dos pilares que serão utilizados para determinar as coordenadas dos pontos de monitoramento junto às fissuras e junção de blocos na Usina Hidroelétrica de Salto Caxias.

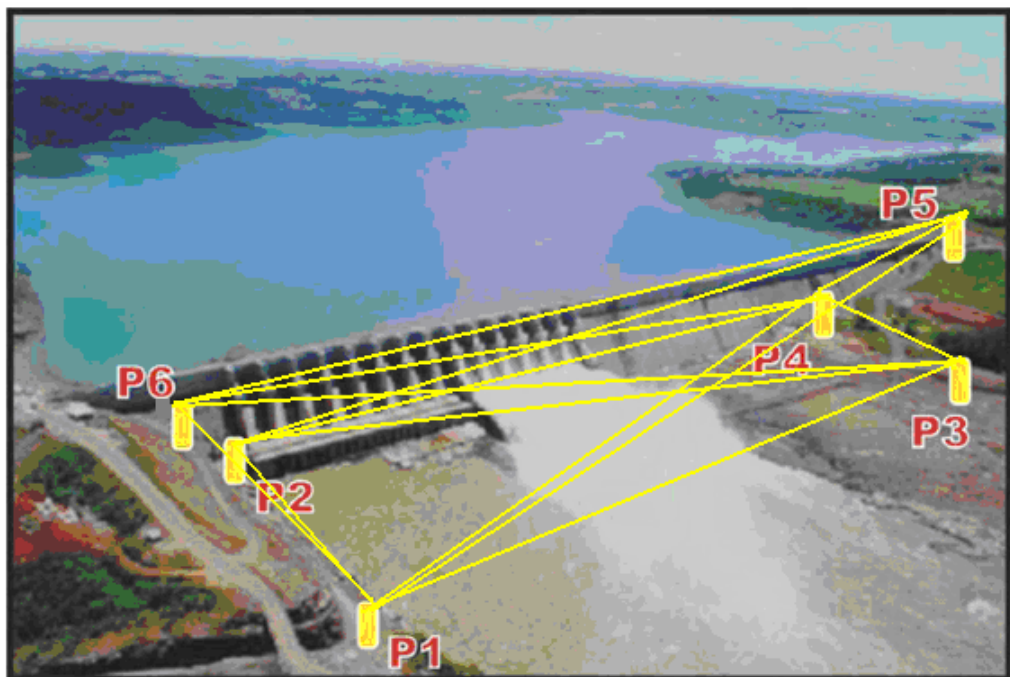


FIGURA 5 - TRIANGULAÇÃO DA REDE DE EXTERNA
FONTE: Adaptado GRANEMANN, 2005.

A trilateração é processo semelhante à triangulação, porém, ao invés de serem observados os ângulos, os lados dos triângulos é que são observados, trabalhando-se, portanto com distâncias (Figura 6). No caso da geodésia estas distâncias são medidas utilizando-se os medidores eletrônicos de distância.

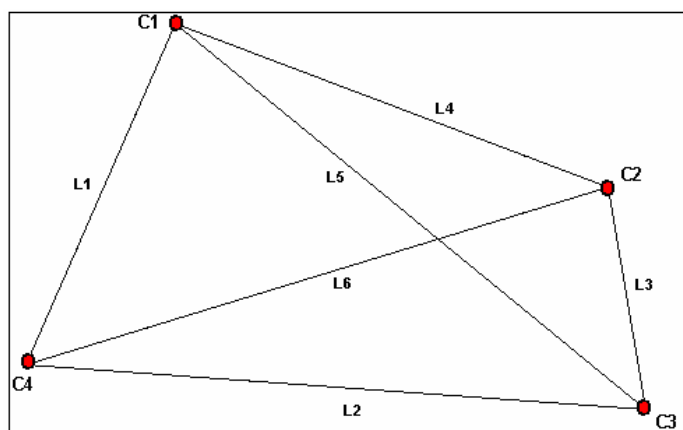


FIGURA 6 - TRILATERAÇÃO
FONTE: O autor (2008)

Onde:

$L_{1,2,...,6}$ = distâncias entre os vértices.

A partir da rede básica de monitoramento definida pelos pontos levantados por triangulação ou trilateração, as coordenadas dos pontos a serem monitorados na estrutura são determinadas utilizando-se interseção ou recessão.

De acordo com KAHMEN et al, (1988), na interseção as coordenadas do objeto a ser posicionado são determinadas a partir de observações angulares realizadas de dois pontos conhecidos (Figura 7). As distâncias dos pontos da rede até o objeto são determinadas pela lei dos senos ou dos cossenos dependendo das informações disponíveis.

Para determinar as coordenadas do ponto P utiliza-se a distância C_1C_2 que foi determinada por triangulação, trilateração ou através de junção dos dois métodos. Com o instrumento estacionado em C_1 Visa-se C_2 e posteriormente P. Com isso mede-se o ângulo α ($\angle C_2 C_1 P$). O mesmo procedimento é utilizado para obter o ângulo β .

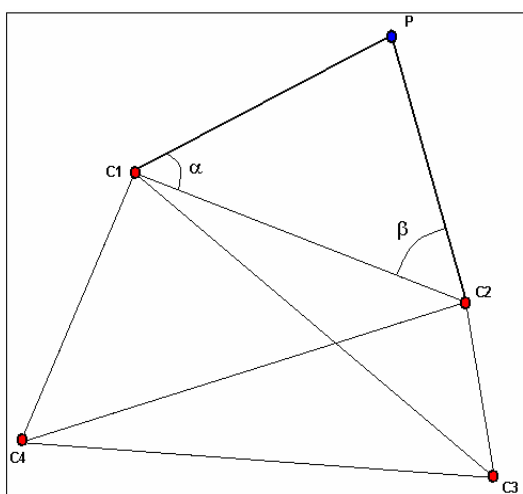


FIGURA 7 - INTERSEÇÃO À VANTE

FONTE: O autor (2008)

Onde:

α e β = ângulos internos;

P= ponto a ser determinado às coordenadas.

No caso da recessão, o equipamento é instalado sobre o ponto cujas coordenadas devem ser determinadas e são realizadas observações nos pontos de

apoio (Figura 8). É necessária a observação de três ou mais pontos para a solução matemática do problema (KAHMEN et al, 1988).

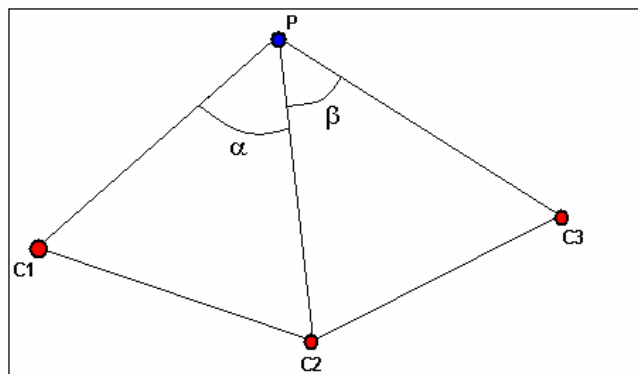


FIGURA 8 - RECESSÃO

FONTE: O autor (2008)

Onde:

α e β = ângulos internos;

P= ponto a ser determinado as coordenadas e instalado o instrumento.

- Irradiação

Outra técnica que pode ser utilizada para a obtenção coordenadas dos pontos monitorados é a irradiação, onde um ângulo em relação a uma direção conhecida e a distância entre o ponto de apoio e o ponto observado são determinadas para cada ponto, trabalhando num esquema de coordenadas polares (Figura 9). Isto pode ser realizado empregando-se os medidores eletrônicos de distância que funcionam com laser, que não necessitam de um prisma refletor ou os medidores tradicionais, porém neste caso deve-se dispor de refletores posicionados na estrutura a ser monitorada (KAHMEN, 1988).

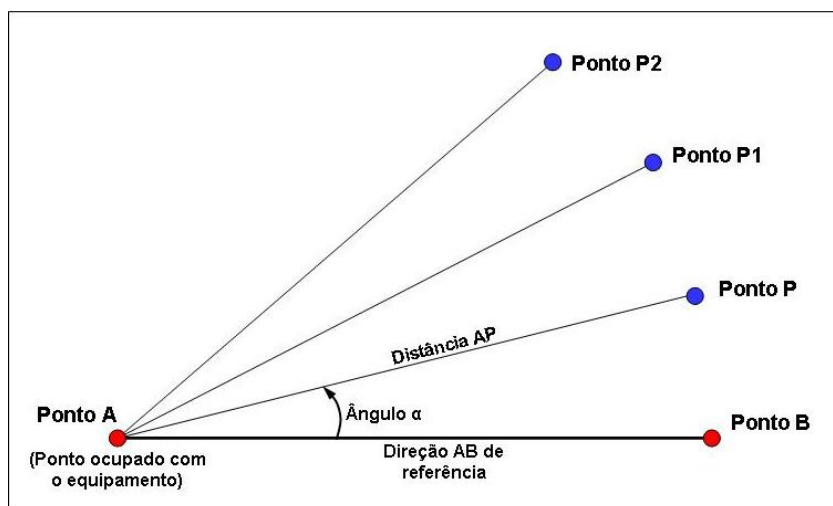


FIGURA 9 - PROCESSOS DE IRRADIAÇÃO

FONTE: O autor (2008)

Nivelamento Geométrico

O nivelamento geométrico é a operação que visa à determinação do desnível entre dois pontos a partir da leitura em miras (estádias) graduadas efetuadas com um nível, ou mais recentemente, com níveis digitais e miras graduadas com códigos de barra. Para a determinação de desníveis com precisão normalmente é empregado o método de visadas iguais. Nele as duas miras são colocadas à mesma distância do nível sobre os pontos que se deseja determinar o desnível (VEIGA et al, 2007).

É um processo simples, onde o desnível é determinado pela diferença entre uma leitura de ré e uma de vante (Figura 10).

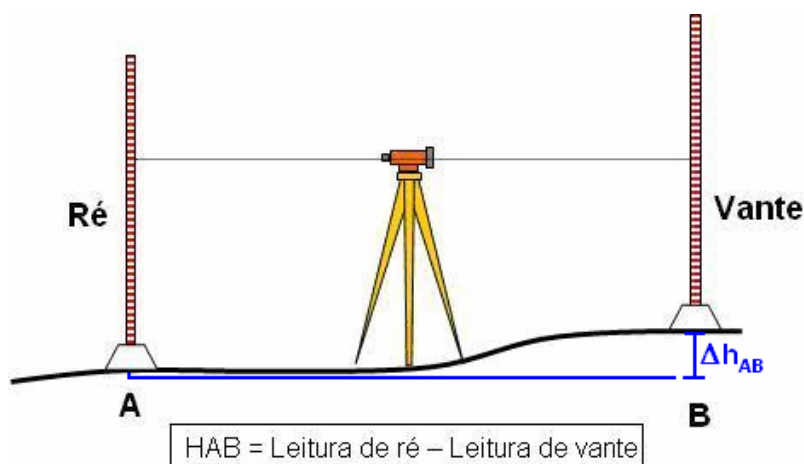


FIGURA 10 - NIVELAMENTO GEOMÉTRICO MÉTODO DAS VISADAS IGUAIS

FONTE: VEIGA et al, (2007).

Os equipamentos empregados são os níveis (óptico-mecânico, óptico-automático e digital) e miras topográficas. Atualmente é cada vez mais comum a utilização de níveis digitais juntamente com miras com código de barra.

Ainda de acordo com VEIGA et al, (2007), os níveis digitais possuem os mesmos componentes mecânicos e ópticos de um instrumento clássico, mas diferem destes no que diz respeito à forma de leitura. Esta se baseia na decodificação de um código de barras existente na mira (Figura 11).



FIGURA 11 - MIRA COM CÓDIGO DE BARRAS

FONTE: VEIGA et al, (2007).

De acordo com KAHMEN & FAIG (1988, p.565), níveis automáticos com micrômetro e miras topográficas são utilizados para obter desníveis com desvios padrões menores que 1 mm/km. Em trabalhos utilizando a técnica de nivelamento geométrico de alta precisão, MEDEIROS (1999) conseguiu estabelecer o desnível das linhas que compõe a rede altimétrica de primeira ordem implantada no Centro Politécnico (Campus 3) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), com precisão abaixo de $0,5 \text{ mm} \sqrt{k}$ (sendo k a média da distância nivelada e contranivelada).

Cabe salientar que os trabalhos foram realizados utilizando-se um nível geodésico óptico-mecânico (modelo N3 da Wild), e miras de invar calibradas.

Mais detalhes sobre o procedimento de nivelamento podem ser encontrados em BRASIL (1975), BRASIL (1998) e MEDEIROS (1999).

No monitoramento que vem sendo realizado na Usina Hidroelétrica de Salto Caxias, utilizando esta técnica, porém com níveis digitais e miras de invar que possuem códigos de barra, os fechamentos das seções são obtidos com resolução igual ou menor $0,5 \text{ mm} \sqrt{k}$, com rendimento melhor e sem a influência do observador.

2.1.4 Automação na Coleta de Dados Geodésicos

Segundo VEIGA (2006), por automação entende-se um “sistema automático pelo qual os mecanismos controlam seu funcionamento, dispensando, quase por completo, a interferência do ser humano”. Tal forma de automação seria preferível. Na topografia a automação está presente em diferentes estágios do trabalho, sendo que o grau de automação de cada um é variável.

Segundo DEPARTMENT OF THE ARMY (2002), na abordagem da automação de um sistema para a coleta de dados voltados ao monitoramento de estruturas, o envolvimento humano na automação pode ser total, no caso de um sistema totalmente manual, até virtualmente nenhum, num sistema totalmente automatizado, sendo que nenhum destes extremos é prático.

Neste quesito pode-se falar também em acesso remoto, ou seja, quando o operador do equipamento encontra-se fisicamente distante do local de trabalho, porém está diretamente ligado à atividade por meio de um *link* físico ou não, através do qual é capaz de comandar o equipamento e ainda acompanhar o que está sendo executado.

Em levantamentos geodésicos de alta precisão, recomenda-se esta metodologia para evitar o desvio da pontaria quando o operador pressiona a tecla da medição. Em alguns equipamentos a posição desta tecla tem sido alterada. Nos níveis digitais da *LEICA* isso pode ser observado no nível NA2003, um dos primeiros

níveis digitais, onde a posição da tecla de medida é na parte frontal da lateral direita. Já no modelo mais recente, o DNA03 esta tecla é colocada no centro da lateral direita (Figura 12).



FIGURA 12 - NÍVEIS DIGITAIS NA2003 E DNA03

FONTE: O autor (2008)

Existem hoje no mercado as chamadas estações totais robotizadas, que possuem servo-motores e permitem o reconhecimento automático de alvos, e que podem ser programadas para efetuar as observações de forma automatizada, sem a necessidade da presença de um operador (Figura 13). (GRANEMANN, 2005)



FIGURA 13 - ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA - LEICA 1205

FONTE: O autor (2008)

Sistemas de automação e coleta de dados podem ser observados em grandes obras como no Diamond Valley Lake, ao sul do estado norte-americano da Califórnia, onde os estudos realizados demonstram a praticidade e os bons resultados obtidos com esta técnica, conforme se observa em LUTES et al (2001), que caracteriza como a solução mais prática e econômica o uso de estações totais robotizadas em um sistema completo de automação de medidas, com o programa computacional apropriado, os dados podem ser coletados, processados automaticamente e transferidos para os locais de análise gerando uma redução de trabalho e custo necessários para a coleta dos mesmos.



FIGURA 14 - RESERVATÓRIO DE DIAMOND VALLEY LAKE

Porém VEIGA (2006) conclui sobre a automação ao dizer que “Independente do grau de automatização, o objetivo final é comum: que a intervenção do operador seja a mínima possível, da coleta dos dados brutos até a representação final da área levantada”.

Aos interessados em mais detalhes sobre automação, recomenda-se a NADAL (2008).

2.2 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES APLICADO A REDES GEODESICAS

Segundo GEMAEL (1994), as observações realizadas pelo homem se caracterizam pela inevitável presença de erros nas medições, erros que ocorrem

devido à falha humana, a imperfeição de equipamentos e da influência das condições ambientais nas quais se efetua a mensuração. Por causa deste fato percebe-se a necessidade da repetição nas medições realizadas. A partir da realização de várias observações nos deparamos com dados redundantes e com a incapacidade em determinar o valor verdadeiro das grandezas. Por isso é necessário resolver as discrepâncias geométricas ocorrentes nas observações e extrair um resultado único que represente o valor mais próximo possível do valor verdadeiro e uma maior confiança da grandeza medida.

O ajustamento de observações está presente na solução deste problema efetuando a avaliação desse valor e das estimativas de precisão da solução adotada e a correlação entre elas. É um método indispensável para profissionais da área de Geodésia obterem resultados confiáveis sobre as medições obtidas nos levantamentos.

Segundo GEMAEL (1994) ajustamento de observações diz respeito à minimização dos erros acidentais das medidas, com a utilização do método dos mínimos quadrados, o qual tem como fundamento: a soma dos quadrados dos resíduos é mínima.

O objetivo é resolver o problema da superabundância de observações, extraindo um resultado único que representa com maior confiança a grandeza medida e os parâmetros estimados. O modelo de ajustamento é uma forma matemática de se expressar uma realidade física com a melhor aproximação possível (DALMOLIN, 2004).

Na proposta do trabalho que será desenvolvida nesta dissertação, o ajustamento será aplicado a uma rede geodésica. Em função disso os exemplos utilizados na fundamentação sobre o assunto reportam-se a aplicação de ajustamento nestas estruturas.

2.2.1 Método dos Mínimos Quadrados

Segundo GEMAEL (1994) o Método dos Mínimos Quadrados é aplicado à solução de problemas onde ocorre um sistema redundante de equações, ou seja, onde o número de equações é maior que o número de incógnitas. A redundância é

denominada de graus de liberdade, e é dada pela diferença entre o número de equações e o número de incógnitas. Nas ciências geodésicas há uma clara preferência pelo MMQ, que consiste na minimização da forma quadrática $V^T P V$, onde V é o vetor dos resíduos das observações e P é a matriz dos pesos destas mesmas observações.

A melhor estimativa das incógnitas feita pelo MMQ tem como característica principal o fato de oferecer solução única para um dado problema, e como produto final da aplicação do método pode-se inferir a qualidade dos resultados a partir da matriz variância-covariância Σx (GEMAEL, 1994).

2.2.1.1 Solução Matemática

O modelo matemático é expresso por:

$$F(x^a) = L^a \quad (1)$$

Este modelo diz que os valores observados ajustados são função explícita dos parâmetros ajustados:

$${}_u x_1^a = \begin{bmatrix} x_i^a \\ y_i^a \end{bmatrix} \quad (2)$$

Linearizando-se o modelo pela série de Taylor (desprezando os termos de ordem igual a 2 e superior) obtém-se:

$${}_n A_{u \ u} X_1 + {}_n L_1 = {}_n V_1 \quad (3)$$

$$A = \left. \frac{\partial f_i}{\partial X_1} \right| \quad (4)$$

$$X_i = \begin{bmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Y_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$L = \begin{bmatrix} S_{ij}^c - S_{ij}^0 \\ a_{jik}^c - a_{jih}^0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Onde:

S_{ij}^c = distância calculada;

S_{ij}^0 = distância observada;

a_{jik}^c = azimuth calculada;

a_{jih}^0 = azimuth observado.

O sistema de equações normais será formado a partir da seguinte expressão:

$${}_u A_n^T {}_n P_n {}_n A_u {}_u X_1 + {}_u A_n^T {}_n P_n {}_n L_1 = {}_u O_1 \quad (7)$$

Isolando X obtém-se:

$$X = -\left(A^T P A\right)^{-1} A^T P L \quad (8)$$

A equação 8 também pode ser expressa por:

$$X = -N^{-1}U \quad (9)$$

Onde:

$$N^{-1} = \left(A^T P A\right)^{-1} \quad (10)$$

$$U = A^T P L \quad (11)$$

As coordenadas ajustadas são apresentadas pela seguinte relação.

$$X^a = X^c + X \quad (12)$$

Onde:

X^c é o vetor das coordenadas aproximadas

X^a é o vetor das coordenadas ajustadas.

2.2.2 Método de Variação de Coordenadas

O método de ajustamento de variação de coordenadas é uma aplicação do método paramétrico ao ajustamento de triangulações, trilaterações, poligonações ou combinação de tais processos de levantamento, permitindo obter as coordenadas finais dos vértices mediante as correções que são adicionadas às coordenadas provisórias, calculadas com valores observados (GEMAEL, 1994).

Permite inclusive ajustar redes livres, ou seja, sem nenhum ponto de controle fixo. É um processo de ajustamento indireto.

Segundo GEMAEL (1994), o processo pode ser dividido em duas fases, problema direto e inverso. No problema direto as coordenadas provisórias, ou iniciais, são determinadas empregando-se transporte de coordenadas utilizando as medidas observadas e no problema inverso a partir das coordenadas provisórias são calculados os ângulos e distâncias entre todos os vértices e o modelo matemático natural utilizado é função dos parâmetros ajustados.

2.2.2.1 Obtenção das Equações Diferenciais de Azimute e Distância

Uma das etapas na análise de deslocamentos é o ajustamento das observações pelo critério dos mínimos quadrados (MMQ).

O ajustamento da rede externa pelo método de variação de coordenadas consiste em calcular as correções das coordenadas provisórias dos vértices,

calculadas com os valores observados, para a obtenção das coordenadas finais (GEMAEL, 1994, p.213).

Em uma rede são observadas direções e distâncias. Isto requer que equações diferenciais de distância e de ângulos sejam desenvolvidas a fim de propiciar o ajustamento tanto dos parâmetros x e y das estações incógnitas como dos valores observados.

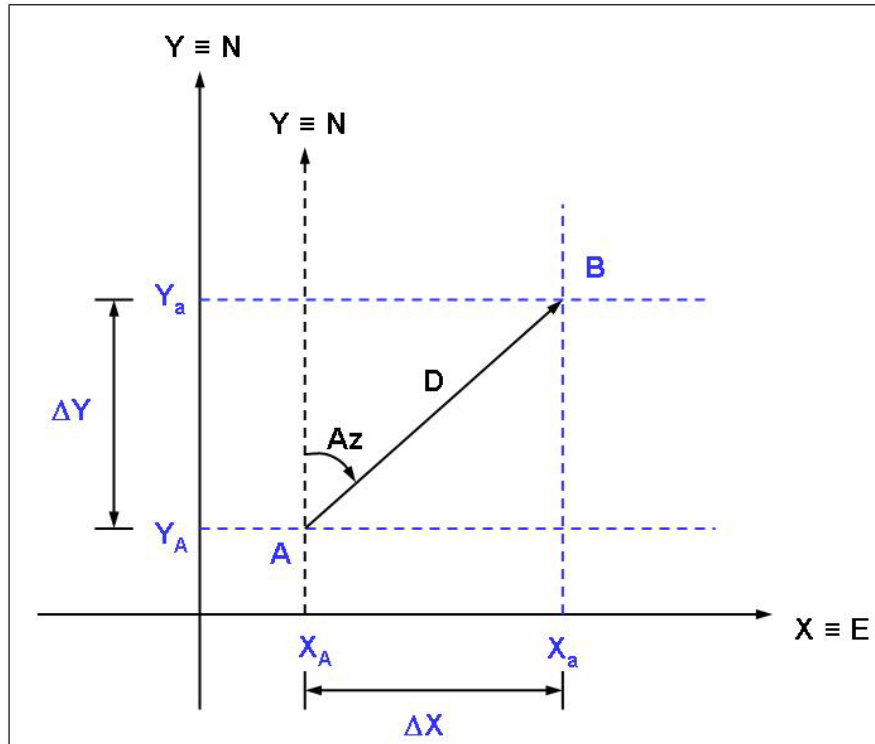


FIGURA 15 - REPRESENTAÇÃO DO AZIMUTE E DISTÂNCIA ENTRE DOIS PONTOS NO PLANO
FONTE: ADAPATADO DE FAGGION , (2001)

Da (figura 15) é possível retirar as seguintes relações.

$$Y_B - Y_A = D_{AB} \cos Az \quad (13)$$

$$X_B - X_A = D_{AB} \sin Az \quad (14)$$

$$\tan Az_{AB} = \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A} \quad (15)$$

$$D_{AB}^2 = (X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2 \quad (16)$$

a) Equação Diferencial de Azimute no Plano

Diferenciando a equação 15, obtém-se:

$$\frac{1}{\cos^2 Az_{AB}} dAz_{AB} = \frac{(Y_B - Y_A)(dX_B - dX_A) - (X_B - X_A)(dY_B - dY_A)}{(Y_B - Y_A)^2} \quad (17)$$

Da equação 13 obtém-se que:

$$\cos Az_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{D_{AB}} \Rightarrow \frac{Y_B - Y_A}{\cos Az_{AB}} = D_{AB} \quad (18)$$

Invertendo a equação 18 e elevando-a ao quadrado a equação fica com a seguinte configuração:

$$\frac{1}{D_{AB}^2} = \frac{\cos^2 Az_{AB}}{(Y_B - Y_A)^2} \quad (19)$$

Substituindo-se as equações 13, 14 e 15 na equação 17 obtém-se:

$$dAz_{AB} = \frac{\cos^2 Az_{AB} (Y_B - Y_A)(dX_B - dX_A)}{(Y_B - Y_A)^2} - \frac{\cos^2 Az_{AB} (X_B - X_A)(dY_B - dY_A)}{(Y_B - Y_A)^2} \quad (20)$$

Substituindo a equação 19 em 20, obtém-se:

$$dAz_{AB} = \frac{(Y_B - Y_A)(dX_B - dX_A)}{D_{AB}^2} - \frac{(X_B - X_A)(dY_B - dY_A)}{D_{AB}^2} \quad (21)$$

Da equação 13 e 14 é possível isolar o co-seno e o seno respectivamente.

$$\frac{(Y_B - Y_A)}{D_{AB}} = \cos Az_{AB} \quad (22)$$

e

$$\frac{(X_B - X_A)}{D_{AB}} = \sin Az_{AB} \quad (23)$$

Substituindo as equações 22 e 23 na equação 21, a equação diferencial para azimute toma a seguinte configuração.

$$dAz_{AB} = \frac{[\cos Az_{AB}(dX_B - dX_A) - \sin Az_{AB}(dY_B - dY_A)]}{D_{AB}} \quad (24)$$

A equação 24 expressa em segundo de arco toma a seguinte configuração:

$$d'' Az_{AB} = \frac{648000}{\pi D_{AB}} [\cos Az_{AB} dX_B - \cos Az_{AB} dX_A - \sin Az_{AB} dY_B + \sin Az_{AB} dY_A] \quad (25)$$

Fazendo:

$$V''_{AB} = A_{AB}^C - A_{AB}^O$$

$$\frac{648000}{\pi D_{AB}} \cos Az_{AB} = P_{AB} \quad \text{e} \quad \frac{648000}{\pi D_{AB}} \sin Az_{AB} = Q_{AB}$$

Obtém-se:

$$A_{AB}^O - A_{AB}^C + V_{AB} = -P_{AB} dX_A + P_{AB} dX_B + Q_{AB} dY_A - Q_{AB} dY_B \quad (26)$$

Generalizando a equação 26 obtém-se

$$-P_{ij}dX_i + P_{ij}dX_j + Q_{ij}dY_i - Q_{ij}dY_j + A_{ij}^C - A_{ij}^O = V_{ij} \quad (27)$$

onde:

A_{ij}^C = azimute da direção ij calculado;

A_{ij}^O = azimute da direção ij observado;

V_i = resíduo

b) Equação diferencial de distância no plano

Diferenciando-se a equação 14 obtém-se

$$2D_{AB}dD_{AB} = 2(X_B - X_A)(dX_B - dX_A) + 2(Y_B - Y_A)(dY_B - dY_A) \quad (28)$$

$$dD_{AB} = \frac{(X_B - X_A)(dX_B - dX_A) + (Y_B - Y_A)(dY_B - dY_A)}{D_{AB}} \quad (29)$$

Substituindo as equações 13 e 14 em 29 obtém-se:

$$dD_{AB} = \text{sen } Az_{AB}(dX_B - dX_A) + \cos Az_{AB}(dY_B - dY_A)$$

ou

$$dD_{AB} = \text{sen } Az_{AB}dX_B - \text{sen } Az_{AB}dX_A + \cos Az_{AB}dY_B - \cos Az_{AB}dY_A \quad (30)$$

$$dD_{AB} = D_{AB}^O - D_{AB}^C + V_{D_{AB}} \quad (31)$$

Substituindo-se a equação 31 na equação 30 obtém-se

$$D_{AB}^O - D_{AB}^C + V_{D_{AB}} = \text{sen } Az_{AB} dX_B - \text{sen } Az_{AB} dX_A + \cos Az_{AB} dY_B - \cos Az_{AB} dY_A \quad (32)$$

Admitindo que $\text{sen } Az_{AB} = K_{AB}$ e $\cos Az_{AB} = L_{AB}$ e substituindo na equação 27 obtém-se

$$D_{AB}^O - D_{AB}^C + V_{D_{AB}} = K_{AB} dX_B - K_{AB} dX_A + L_{AB} dY_B - L_{AB} dY_A \quad (33)$$

Ordenando a equação 33

$$V_{d_{ij}} = -K_{AB} dX_A - L_{AB} dY_A + K_{AB} dX_B + L_{AB} dY_B + D_{AB}^C - D_{AB}^O + V_{D_{AB}} \quad (34)$$

Generalizando

$$-K_{ij} dX_i - L_{ij} dY_i + K_{ij} dX_j + L_{ij} dY_j + D_{ij}^C - D_{ij}^O = V_{ij} \quad (35)$$

Onde:

D^O = distância observada

D^C = distância calculada

V_i = resíduo

2.2.3 Estatística Aplicada a Análise dos Resultados

- Teste de Hipóteses da Igualdade de variâncias populacionais

Entre as várias aplicações de um teste de hipóteses da igualdade de variâncias, destaca-se o uso em conexão com o teste t de duas amostras para médias, onde se precisa verificar se as variâncias populacionais são iguais.

Dadas as amostras aleatórias independentes de tamanhos n_1 e n_2 de populações com variâncias σ_1^2 e σ_2^2 e admitindo que essas populações tenham

distribuições aproximadamente normais, costuma-se basear os testes da hipótese nula $H_o \rightarrow \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ na estatística F.

As razões $F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$ ou $F = \frac{s_2^2}{s_1^2}$, denominadas de razões de variâncias, são

valores de uma variável aleatória com distribuição F. Esta importante distribuição contínua depende de dois parâmetros chamados graus de liberdade do numerador e do denominador. Os valores desses parâmetros são $n_1 - 1$ e $n_2 - 1$ se calcularmos

$\frac{s_1^2}{s_2^2}$. Analogamente, esses valores serão $n_2 - 1$ e $n_1 - 1$ se calcularmos $\frac{s_2^2}{s_1^2}$.

3 METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Localização

A estrutura utilizada para o desenvolvimento da metodologia foi a Usina Hidroelétrica de Salto Caxias, localizada entre os municípios de Capitão Leônidas Marques e Nova Prata do Iguaçu, sudoeste do Paraná, a 650 km de Curitiba (Figura 15).

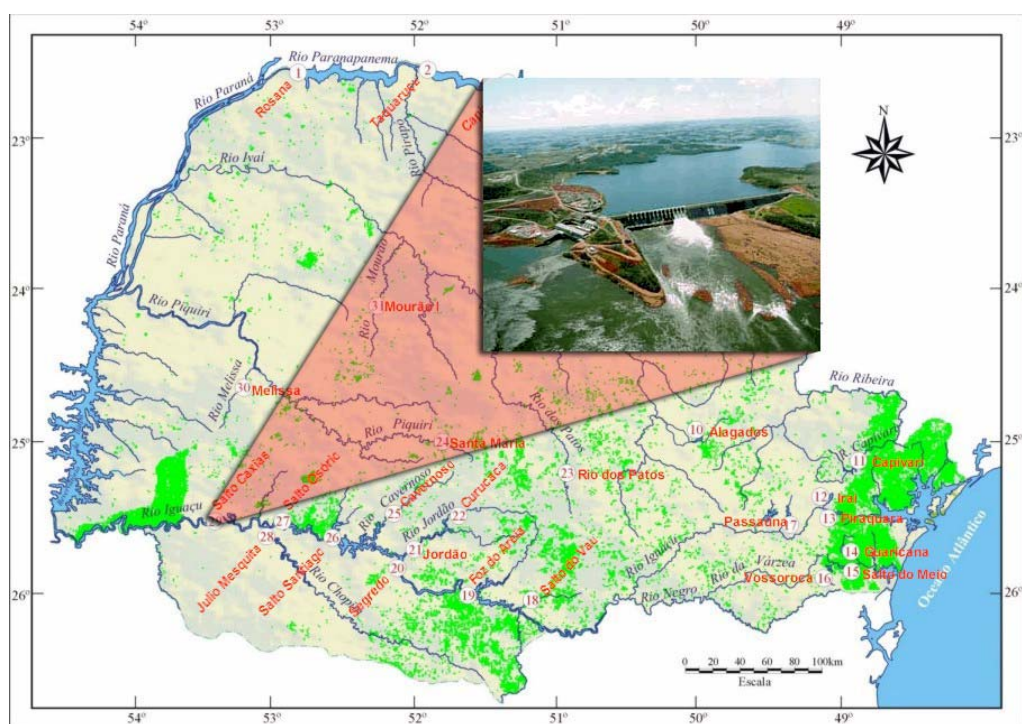


FIGURA 16 - LOCALIZAÇÃO DA USINA

FONTE: GRANEMANN , (2005)

É a terceira maior central geradora operada pela Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL), com 1.240 megawatts de potência instalada. A barragem

tem 1.100 metros de comprimento e altura média de 67 metros, represando 3,5 bilhões de m³ de água, sua estrutura é de concreto compactado a rolo (CCR), técnica que tem por característica demandar menos cimento e dispensar o uso de armações e ferragens internas. Trata-se da maior estrutura desse gênero construída até hoje no Brasil, tem volume total de 949.000 m³ e pesa cerca de 2,5 milhões de toneladas. É operada por meio de 14 comportas, cada uma com 20 metros de altura por 16,5 metros de largura e 200 toneladas de peso. Totalmente abertas, as comportas permitem a liberação de até 49.600 m³ de água por segundo, o correspondente a mais de 30 vezes a vazão média das Cataratas do Iguaçu (COPEL, 2004).

3.2 DESCRIÇÃO DA REDE EXTERNA DE MONITORAMENTO

A rede externa de monitoramento da UHE Salto Caxias situa-se a jusante da barragem, sendo formada por 6 pilares com sistema de centragem forçada, sendo que três desses pilares são utilizados para o monitoramento das galerias internas: P2, P5 e P6.

Através dos pilares P1 e P3 desta rede realiza-se o monitoramento das fissuras (Blocos) a jusante, e para montante implantou-se um vértice sobre a comporta 14, uma vez que os pontos de monitoramento a montante não são possíveis de serem observados a partir dos pilares da rede.

No entanto, é necessário primeiramente realizar o levantamento geodésico da rede, para avaliar a estabilidade da estrutura, onde os pilares que a materializam estão engastados e obter as coordenadas planimétricas dos seus vértices, materializados pelos pilares (Figura 17).

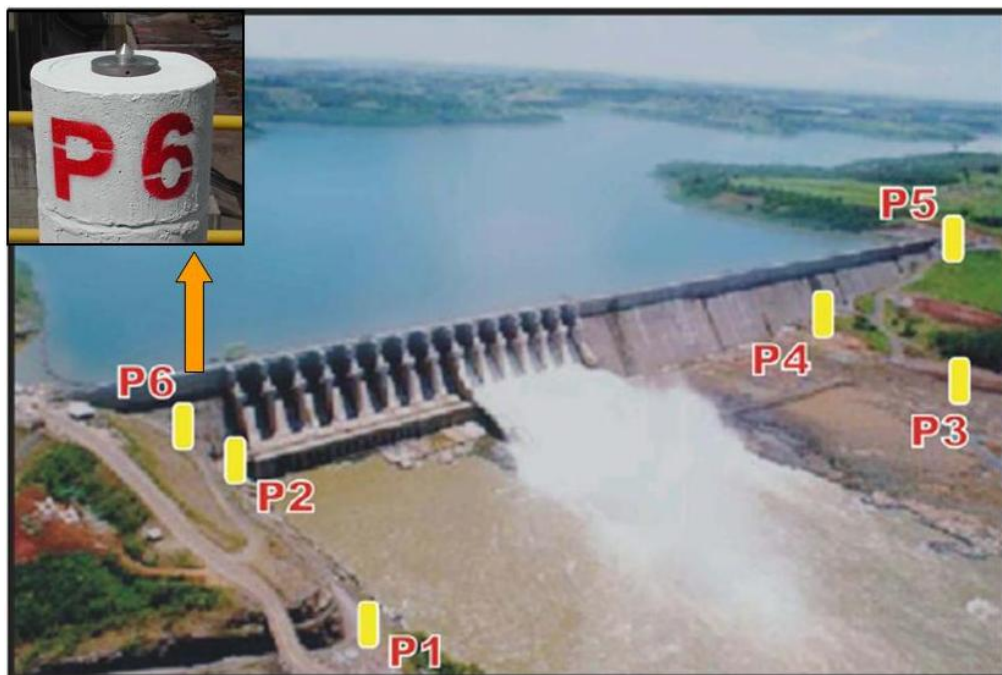


FIGURA 17 - REDE EXTERNA DE MONITORAMENTO (6 PONTOS)
FONTE: O autor (2008)

3.2.1 Rede de Monitoramento Externa à Jusante

Esta rede é utilizada para avaliar a estabilidade da região onde está localizada a barragem.

Como o objetivo do trabalho é avaliar o comportamento dos alvos implantados junto aos blocos da barragem, eliminou-se do ajustamento da rede externa as observações referentes aos pilares P5 e P2, pois estes servem de apoio para as medições realizadas no interior das galerias.

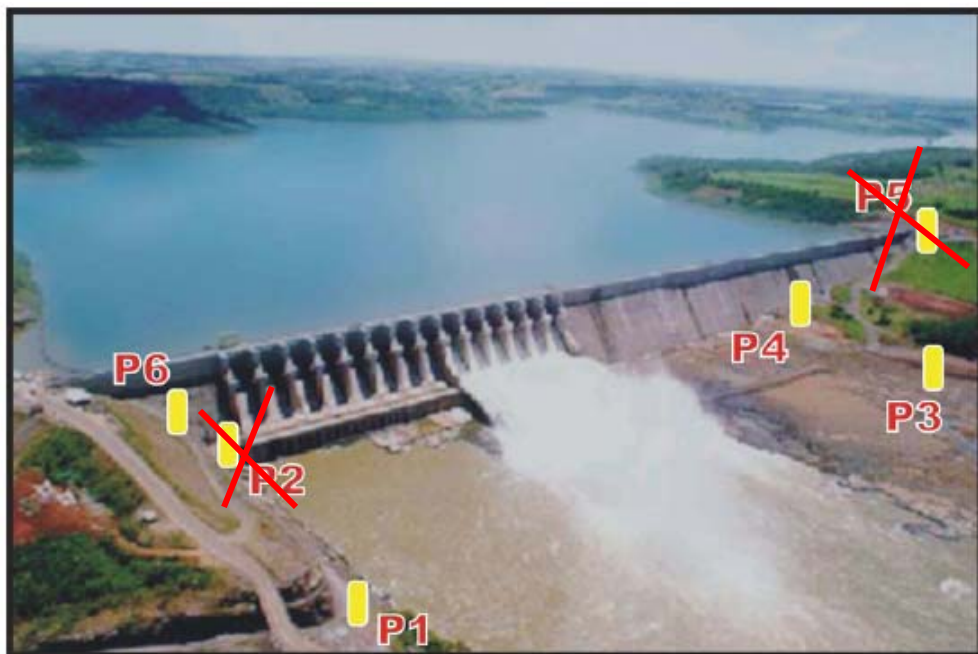


FIGURA 18 - SELEÇÃO DE PONTOS DA REDE EXTERNA DE MONITORAMENTO

Realizando estas considerações a rede externa que será analisada é formada por dois pilares na margem direita e dois na margem esquerda (Figura19).

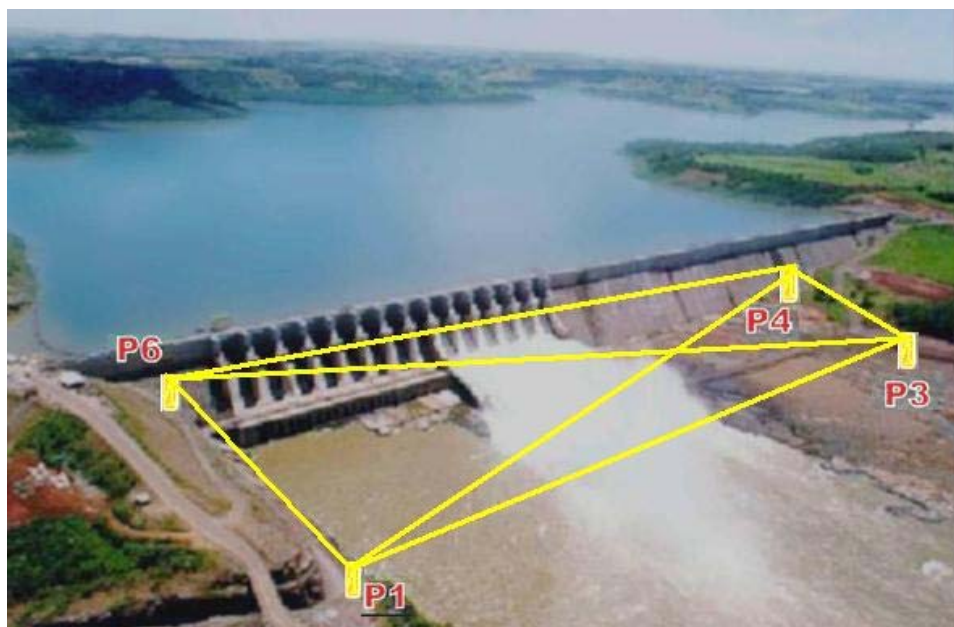


FIGURA 19 - REDE EXTERNA DE MONITORAMENTO

Esta serve de base para o monitoramento das fissuras (Blocos) a jusante a partir do pilar 3 (Figura 20).

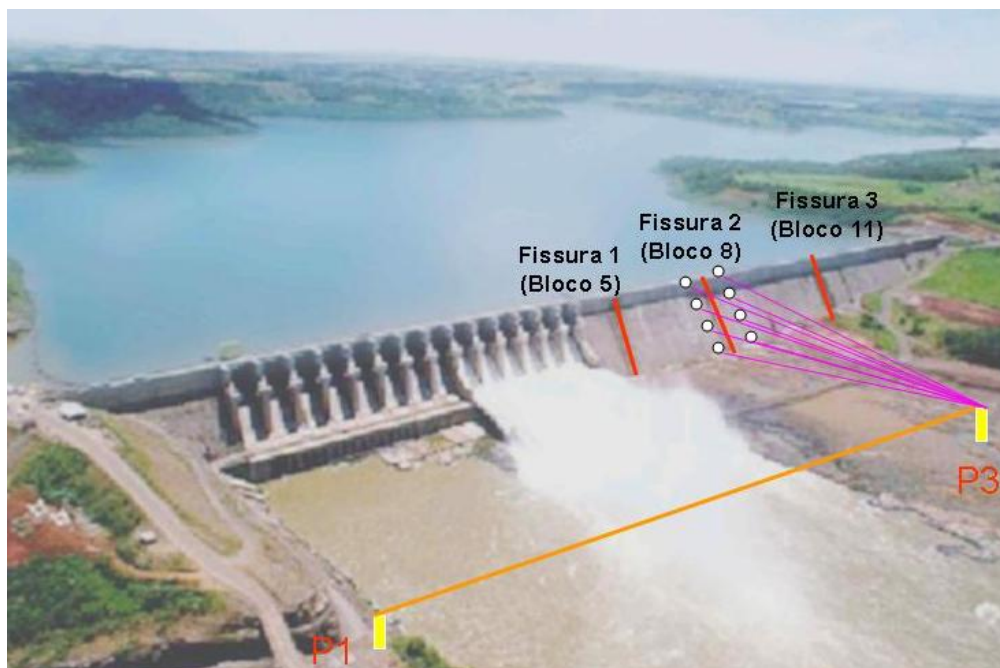


FIGURA 20 - MONITORAMENTO DAS FISSURAS À JUSANTE

Como não é possível monitorar as fissuras a montante a partir dos pilares da rede externa à jusante, implantou-se um novo ponto definindo uma rede complementar denominada de rede externa à montante.

3.2.2 Rede de Monitoramento Externa à Montante

A rede externa de monitoramento à montante é composta por 3 pontos: P1, P3 e MGE06. Realiza-se o levantamento e determinam-se as coordenadas do ponto MGE06 que serve de apoio para a realização do monitoramento das fissuras a montante. Este ponto foi implantado sobre a barragem na lateral direita da comporta 14. Utilizou-se esta posição tendo em vista que as comportas foram construídas com concreto convencional, o qual é mais resistente (Figura 21).



FIGURA 21 - MONITORAMENTO DAS FISSURAS À JUSANTE
FONTE: O autor (2008)

3.2.3 Equipamentos e materiais necessários para o levantamento da rede externa

O levantamento geodésico é realizado empregando-se uma estação total TRIMBLE ZEISS ELTA S20, com precisão nominal angular de 3" e linear de $\pm (2\text{mm} + 2\text{ppm})$ (Figura 22).



FIGURA 22 - ESTAÇÃO TOTAL TRIMBLE ELTA S20
FONTE: O autor (2008)

As medições das direções que compõem a rede são realizadas através de três séries completas de observações (posição direta e inversa da luneta). As distâncias são medidas em ambas as direções de visadas, como por exemplo: P1P3 (do pilar P1 para o pilar P3) e P3P1 (do pilar P3 para o pilar P1), a fim de confirmar as distâncias mensuradas e obter dados para o ajustamento das observações, fornecendo ao fim deste as coordenadas (x, y) dos vértices da rede.

Utilizaram-se sistemas diferentes para a obtenção das distâncias e das direções horizontais na rede externa, tendo em vista as dificuldades de se obter boas pontarias utilizando o prisma como alvo.

Na figura 23 visualiza-se o alvo instalado sobre o pilar P4, para as observações angulares, e na figura 24 o prisma refletor sobre o pilar P5 para as observações lineares.



FIGURA 23 - DETALHE DO ALVO SOBRE O PILAR

FONTE: O autor (2008)



FIGURA 24 - DETALHE DO PRISMA SOBRE O PILAR
FONTE: O autor (2008)

Para a correção das distâncias inclinadas necessita-se de alguns dados atmosféricos, como pressão atmosférica, temperaturas seca e úmida. Empregaram-se instrumentos para a obtenção dos mesmos: barômetro aneróide (pressão atmosférica) e psicômetro (temperatura seca e úmida) (Figura 25).



FIGURA 25 - BARÔMETRO ANERÓIDE E PSICOMETRO
FONTE: O autor (2008)

No levantamento da rede externa a jusante e a montante utilizou-se um conjunto de equipamentos e acessórios relacionados a seguir:

- Estação Total TRIMBLE ZEISS ELTA S20;
- Guarda-sol;
- Velcro (fixação do guarda-sol ao pilar);
- Psicômetro;
- Barômetro;
- Água (para umedecer o psicômetro);
- 6 radios (walk talk);
- Relógio;
- 6 prismas com bases nivelantes;
- 6 alvos com bases nivelantes;
- Ferramentas;
- Prancheta;
- Caderneta;
- Canetas;
- Estopas (limpeza do sistema de centragem forçada);
- Capacetes.

3.2.4 Procedimentos para a Realização das Medições da Rede Externa

A seguir são apresentados os procedimentos para a realização das medições da rede geodésica externa:

1º Definir a seqüência de ocupação dos pilares da rede (P1, P2, P3, P4, P5, P6 e MGE06) de acordo com o período do dia. Por exemplo: no período da manhã é preferível ocupar os pilares da margem esquerda da barragem (P3, P4 e P5), e no período da tarde os pilares da margem direita (P1, P2 e P6), devido à interferência do Sol nas visadas, dificultando a realização das pontarias nos alvos e prismas;

2° Colocar o guarda-sol no pilar fixando-o com velcro. Atentar para a altura de instalação do guarda-sol a fim de não prejudicar as visadas do observador;

3° Desacoplar a base da estação total para a instalação e calagem, para não prejudicar o mecanismo do equipamento;

4° Após a calagem da base, acoplar a estação total para proceder ao refinamento de calagem através dos parafusos calantes da base;

5° Instalar e calar as bases dos prismas nos demais pilares da rede, direcionando-os para o pilar ocupado pela estação total;

6° Acomodar devidamente o barômetro para a observação da pressão atmosférica (na área da rede externa a pressão atmosférica é em torno de 730 mmHg);

7° Sendo empregado o psicômetro de giro, o termômetro da temperatura úmida deve ser levemente umedecido com água. Deve ser girado na sombra, 120 vezes no intervalo de 1 minuto, para a obtenção das temperaturas seca e úmida. Anotar a hora das observações;

8° Anotar adequadamente as observações do 6° e 7° procedimentos, para que se possam aplicar as correções atmosféricas às distâncias inclinadas obtidas pela estação total. (as temperaturas e pressão atmosférica devem ser as do instante da medição da distância);

9° Iniciar as observações lineares sempre do pilar à esquerda, zerando o ângulo horizontal da estação total neste pilar, obtendo direções no sentido horário. Iniciar observações na posição direta da luneta;

10° Gravar as observações da estação total Elta S20:

11° Realizar uma série completa (PD e PI) de observações lineares entre os pilares, sempre armazenando as observações e anotando o número do registro fornecido pela estação total, a fim de organizar e identificar os dados descarregados posteriormente;

12° Ao término das observações lineares comunicar a equipe técnica para que proceda a troca dos prismas por alvos para a realização das observações angulares;

13° Iniciar as observações angulares sempre do pilar à esquerda, zerando o ângulo horizontal da estação total neste pilar, obtendo direções no sentido horário. Iniciar observações na posição direta da luneta;

14° Configurar a estação total para que apresente na tela os ângulos horizontal e vertical;

15° Gravar as observações de direções:

16° Realizar 3 séries completas (PD e PI) de observações angulares entre os pilares, anotando o número do registro inicial e a seqüência de visada dos pilares, a fim de organizar e identificar os dados posteriormente;

17° Ao término das observações de direções comunicar a equipe técnica para que proceda a troca dos alvos por prismas, direcionando-os para o próximo pilar a ser ocupado pela estação total, se ainda houverem observações a serem realizadas. Caso contrário, retirar os alvos e guarda-sol;

18° Desligar a estação total, desacoplá-la e retirar a base do sistema de centragem forçada;

19° Acoplar a estação total a base e acomodá-la em seu estojo;

20° Se ainda houverem observações a serem realizadas, instalar o prisma neste pilar, calando-o e direcionando-o para o próximo pilar a ser ocupado pela estação total;

21° Desmontar e armazenar devidamente os demais equipamentos e materiais em seus respectivos estojos ao fim do levantamento

Todos os procedimentos devem ser adotados para cada ocupação dos pilares da rede externa de monitoramento (NADAL et al, 2004).

3.3 DESCRIÇÃO DO MONITORAMENTO DAS FISSURAS

O monitoramento das fissuras está dividido da mesma maneira que a da rede externa, em jusante e montante.

Na estrutura da barragem da UHE Salto Caxias existem pontos de controle a serem monitorados, pontos estes definidos pela equipe técnica da COPEL. Trata-se

de fissuras e blocos da estrutura, a montante e jusante da barragem, devendo ser monitorados de modo a verificar se há ou não movimentação significativa.

Para a realização do levantamento das fissuras (blocos) emprega-se a Estação Total Robotizada Leica TCRA 1205 (Figura 26).



FIGURA 26 - ESTAÇÃO TOTAL LEICA TCRA 1205

FONTE: O autor (2008)

3.3.1 Monitoramento das Fissuras à Jusante

Para monitorar os pontos das fissuras localizados a jusante da barragem é necessário ocupar o pilar P3 e realizar uma visada de ré em P1 da rede externa de monitoramento, posteriormente realiza-se as visadas nos pontos às fissuras medindo-se ângulos verticais, direções horizontais e distâncias inclinadas.

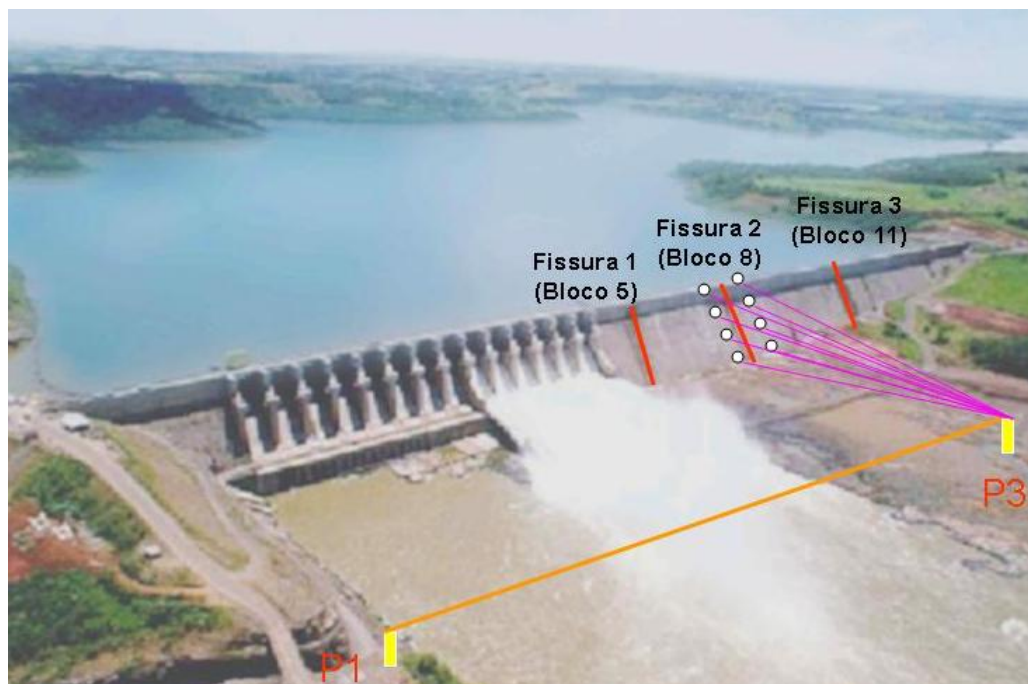


FIGURA 27 - MONITORAMENTO DAS FISSURAS À JUSANTE

FONTE: O autor (2008)

Foram nomeados os pontos das fissuras (blocos) a jusante da barragem, onde na fissura 1 (bloco 5) estão implantados os pontos MGE 09 a MGE 16, na fissura 2 (bloco 8) estão implantados os pontos MGE 19 a MGE 26 e na fissura 3 (bloco 11) estão implantados os pontos MGE 29 a MGE 36.

MGE 10	MGE 09	MGE 19	MGE 20	MGE 29	MGE 30	(CRISTA)
MGE 11	MGE 12	MGE 21	MGE 22	MGE 31	MGE 32	
MGE 13	MGE 14	MGE 23	MGE 24	MGE 33	MGE 34	
MGE 15	MGE 16	MGE 25	MGE 26	MGE 35	MGE 36	
FISSURA 1 (Bloco 5)		FISSURA 2 (Bloco 8)		FISSURA 3 (Bloco 11)		

FIGURA 28 - FISSURAS À JUSANTE OBSERVADAS A PARTIR DO PILAR P3

FONTE: O autor (2008)

Visualiza-se em detalhe, os alvos localizados na escadaria à jusante da barragem (Figura 29).



FIGURA 29 - ALVOS A JUSANTE DA BARRAGEM

FONTE: O autor (2008)

3.3.2 Monitoramento das Fissuras à Montante

Para monitorar os pontos das fissuras localizados a montante ocupa-se um vértice da rede externa a montante localizado sobre a comporta C14 denominado de MGE 06 o qual tem suas coordenadas planimétricas diretamente ligadas ao referencial local adotado para a rede externa.

Foram nomeados os pontos das fissuras (blocos) a montante da barragem, onde na fissura 1 (bloco 5) estão implantados os pontos MGE 07 e MGE 08, na fissura 2 (bloco 8) estão implantados os pontos MGE 17 e MGE 18 e na fissura 3 (bloco 11) estão implantados os pontos MGE 27 e MGE 28.

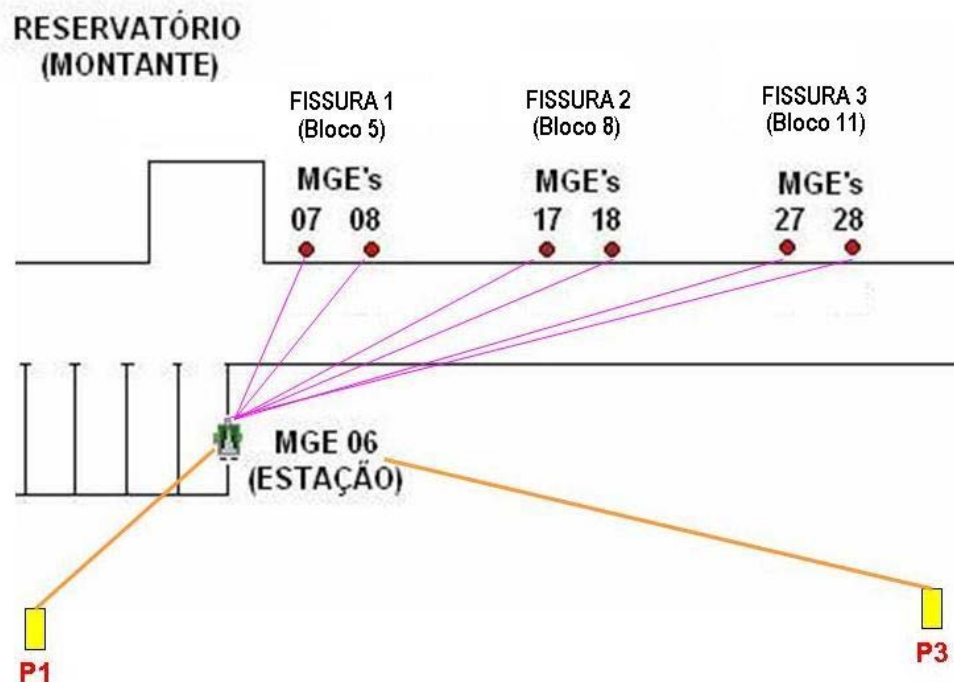


FIGURA 30 - FISSURAS A MONTANTE OBSERVADAS A PARTIR DA ESTAÇÃO MGE 06
 FONTE: O autor (2008)

Na figura 31 visualiza-se o posicionamento dos alvos a montante da barragem, sobre a mureta.



FIGURA 31 - POSICIONAMENTO DOS ALVOS À MONTANTE DA BARRAGEM
 FONTE: O autor (2008)

3.4 AJUSTAMENTO APLICADO NA OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DA REDE EXTERNA

Considerando a configuração da rede externa apresentada pela (figura 19), e aplicando o método de ajustamento por variação de coordenadas, objetivando a determinação das correções que deverão ser aplicadas as coordenadas preliminares para obtê-las ajustadas, obtem-se um sistema com 14 equações para determinar as coordenadas dos 3 pilares, ou seja, 6 incógnitas. O sistema será formado por 6 equações de distância e 8 equações de angulo.

Aplicando-se as equações diferenciais chega-se ao seguinte sistema de equações:

$$\left\{ \begin{array}{l} -KdX_1 - LdY_1 + KdX_2 + LdY_2 + D_{12}^C - D_{12}^O = V_1 \\ -KdX_1 - LdY_1 + KdX_3 + LdY_3 + D_{13}^C - D_{13}^O = V_2 \\ \vdots \\ (P_{16} - P_{14})dx_1 + (Q_{14} - Q_{16})dy_1 - P_{16}dx_6 + Q_{16}dy_6 + P_{14}dx_4 - Q_{14}dy_4 + A_{614}^C - A_{614}^O = V_7 \\ (P_{13} - P_{14})dx_1 + (Q_{14} - Q_{13})dy_1 - P_{13}dx_3 + Q_{13}dy_3 + P_{14}dx_4 - Q_{14}dy_4 + A_{314}^C - A_{314}^O = V_8 \\ \vdots \end{array} \right.$$

A solução do sistema de equações gerado pela aplicação ajustamento por variação de coordenadas, como já foi visto é o método paramétrico. A matriz A é dada pela derivada parcial nas equações de condição.

$${}_{14}A_6 = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial y_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\delta f_1}{\delta x_6} & \frac{\delta f_1}{\delta y_6} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial y_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_{14}}{\partial x_1} & \dots & \dots & \dots & \frac{\delta f_{14}}{\delta x_6} & \frac{\delta f_{14}}{\delta y_6} \end{bmatrix}$$

A matriz L é a diferença entre os valores observados (L_b) valores aproximados (L_0).

$$L = L_B - L_0$$

3.5 CÁLCULOS DAS COORDENADAS DAS FISSURAS

O programa utilizado para automação no cálculo das coordenadas, desenvolvido em ambiente *MATLAB*, transcrito para *DELPHI*, pelo aluno de iniciação científica Daniel Perozzo dos Santos, orientado por mim e pela equipe de pesquisadores vinculados ao projeto. A essência do programa consiste em calcular as coordenadas dos alvos implantados junto às fissuras, utilizando a técnica de irradiação topográfica, armazenando os resultados em um arquivo (banco de dados).

Os dados coletados pela estação total (direções horizontais, ângulos zenitais e distâncias inclinadas) são enviados por um sistema de rádio até a estação de monitoramento e os mesmos são armazenados e decodificados para que o programa possa realizar a leitura do arquivo e posterior cálculo das coordenadas.

Posteriormente realiza-se análise estatística através de rotina implementada no software *MATLAB*, entre duas épocas distintas, para comparar as diferenças de coordenadas dos pontos de cada fissura e verificar se houve alguma variação significativa.

O programa desenvolvido calcula as coordenadas dos pontos junto às fissuras utilizando as seguintes equações.

$$\begin{aligned} X_i &= D_{ij} + \text{sen} Az_{ij} \\ Y_i &= D_{ij} + \cos Az_{ij} \end{aligned} \tag{36}$$

3.5.1 Implementação dos Programas

Em primeira fase o programa foi elaborado para receber o arquivo de dados enviado pela estação total (Figura 32) e decodificá-lo, podendo assim realizar os cálculos para obtenção das coordenadas.

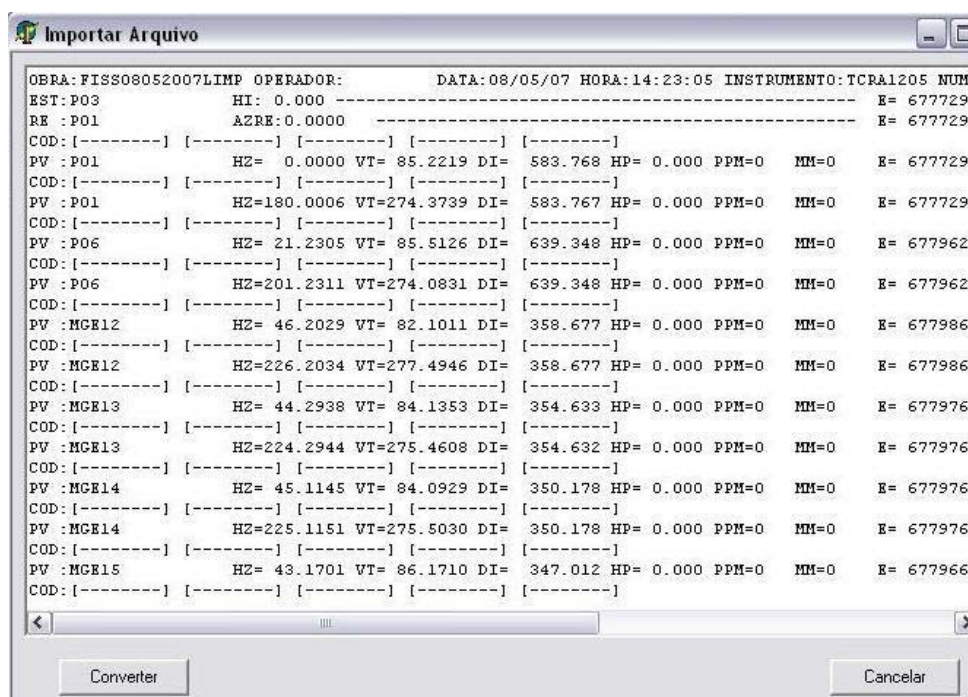


FIGURA 32 - ARQUIVO COM OS DADOS RECEBIDOS DA ESTAÇÃO
FONTE: O autor (2008)

Após o carregamento do arquivo é necessário realizar as correções dos efeitos ambientais e horizontalização das distâncias entre as estações.

O programa computacional calcula a correção para cada distância medida utilizando a seguinte equação:

$$\Delta D_1 = 281,8 - \left[\frac{0,29065 \cdot P}{(1 + \alpha \cdot t)} - \frac{4,126 \cdot 10^{-4} \cdot h}{(1 + \alpha \cdot t)} \cdot 10^x \right] \quad (37)$$

onde:

ΔD_1 = Correção Atmosférica em ppm

P= Pressão Atmosférica

t = Temperatura Ambiente (°C)

h = Umidade Relativa (%)

$\alpha = 1/273,16$

$$x = \frac{7,5t}{237,3 + t} + 0,7857$$

Para a correção das distâncias carrega-se um arquivo com os dados de tempo (hora) e dados atmosféricos de temperaturas seca e úmida e pressão atmosférica (Figura 33).

	Hora	Pressão	Temp. Seca	Temp. Úmida	Umidade	Correção
1	14:52:00	743,7	19,0	14,2	57.64173161856	13.13941851999
2	15:07:00	743,7	17,4	13,9	63.58885458349	11.26569474731
3	15:33:00	744,2	18,5	14,8	64.56703305472	11.87282201783
4	15:45:00	744,3	18,0	13,0	56.46029989962	11.80808537793
5	15:56:00	744,3	17,8	12,6	55.22583696705	10.83635710458
6	16:09:00	744,3	17,7	12,5	55.22583696705	10.83635710458

P01	583,768	11,870	583,774929
P01	583,768	11,873	583,774931
P01	583,768	11,843	583,774913
P01	583,768	11,842	583,774913
P01	583,772	11,812	583,776895
P01	583,768	11,811	583,774895
P01	583,768	11,355	583,774628
P01	583,768	11,341	583,774621
P01	583,768	10,847	583,774332
P01	583,768	10,836	583,774326
P01	583,768	10,836	583,774326
P01	583,768	10,836	583,774326
P06	639,348	11,366	639,355267
P06	639,348	11,370	639,355269
P06	639,348	11,872	639,355590
P06	639,348	11,871	639,355590
P06	639,350	11,841	639,357571
P06	639,348	11,840	639,355570
P06	639,348	11,810	639,355551
P06	639,348	11,809	639,355550
P06	639,348	11,330	639,355244
P06	639,348	11,315	639,355234
P06	639,348	10,836	639,354928
P06	639,348	10,836	639,354928
P06	639,348	10,836	639,354928
P06	639,349	10,836	639,355928
MCE12	358,677	11,400	358,681089

FIGURA 33 - TELA DO PROGRAMA - CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

FONTE: O autor (2008)

Na seqüência as distâncias inclinadas já corrigidas das condições ambientais são horizontalizadas utilizando o ângulo zenital.

Calculam-se as direções horizontais para cada série de observação, a média e o desvio padrão. A série que tiver uma variação duas vezes acima da precisão nominal do instrumento, com relação à média, será eliminada (Figura 34).

	PD	PI	Série Calculada
H	0° 00' 00"	180° 00' 06"	0° 00' 03"
V	85° 22' 19"	274° 37' 39"	85° 22' 20"
Di	583,7746	583,7736	583,7741

	Média Séries	σ
H	0° 00' 00,79"	0° 00' 01,221"
V	85° 22' 19,79"	0° 00' 00,247"
Di	583,7749	0,00087

FIGURA 34 - TELA DO PROGRAMA - CADERNETA

FONTE: O autor (2008)


Posteriormente realiza-se a inserção das coordenadas da rede externa (estação ocupada e as coordenadas dos pontos visados em ré) que servem de base para o cálculo das coordenadas das fissuras.

Media V 85,3720833333333
Desvio V 0,000148478467729114
Media DI 583,774623759321
Desvio DI 0,00026835089578099

FIGURA 35 - TELA DO PROGRAMA - COORDENADAS

FONTE: O autor (2008)

Finalmente são calculadas as coordenadas de todos os alvos instalados junto às fissuras e é apresentado um relatório com as coordenadas dos pontos (Figura 36).



Relatório

Salvar

Imprimir

Ré em P06

Azimute da Ré: 291° 23' 01"

Visada de Ré: 21° 23' 08"

Cálculo das coordenadas considerando a Ré apenas em P01:

Pto	H	Az	X	Y
P06	21° 23' 07,2"	291° 23' 07,2"	988,0880	1232,5246
MGE12	46° 20' 30"	316° 20' 30"	1336,5583	1257,0759
MGE13	44° 29' 39,7"	314° 29' 39,7"	1330,1799	1247,2845
MGE14	45° 11' 46,6"	315° 11' 46,6"	1336,3832	1247,1725
MGE15	43° 17' 03,9"	313° 17' 03,9"	1329,7852	1237,4215
MGE16	44° 10' 05,3"	314° 10' 05,3"	1337,6013	1237,2749
MGE21	65° 52' 41,5"	335° 52' 41,5"	1467,7119	1254,9388
MGE22	66° 13' 04,5"	336° 13' 04,5"	1469,5282	1254,9243
MGE23	65° 08' 27,1"	335° 08' 27,1"	1467,2867	1247,3060
MGE24	65° 28' 01,5"	335° 28' 01,5"	1469,0021	1247,2850
MGE25	64° 08' 49,8"	334° 08' 49,8"	1467,0488	1236,9571
MGE26	64° 23' 56,6"	334° 23' 56,6"	1468,3394	1236,9426
MGE31	89° 07' 06,3"	359° 07' 06,3"	1577,9727	1253,1387
MGE32	89° 27' 35,2"	359° 27' 35,2"	1579,4814	1253,1154
MGE33	88° 56' 38,3"	358° 56' 38,3"	1577,3464	1245,2942
MGE34	89° 14' 27,6"	359° 14' 27,6"	1578,6186	1245,2731
MGE35	88° 42' 21,9"	358° 42' 21,9"	1576,5921	1233,5791
MGE36	88° 56' 19,1"	358° 56' 19,1"	1577,5407	1233,5805
P01FIM	359° 59' 59,9"	269° 59' 59,9"	999,9967	999,9998

FIGURA 36 - RELATÓRIO FINAL DAS COORDENADAS

FONTE: O autor (2008)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADO DA REDE DE CONTROLE (REDE EXTERNA)

Para o controle dos possíveis deslocamentos dos pilares que compõem a rede externa de monitoramento da Barragem de Salto Caxias empregou-se o Método de Ajustamento de Variação de Coordenadas, que é a aplicação do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) ao ajustamento de uma triangulação, trilateração, poligonais ou combinações destes processos, onde as coordenadas finais dos vértices são obtidas no próprio processo de ajustamento. As incógnitas que foram determinadas são as correções que foram aplicadas às coordenadas provisórias dos vértices para a obtenção das coordenadas finais. No entanto, para aplicar este método, é necessário conhecer as coordenadas aproximadas dos pontos, sendo essas obtidas através do cálculo topográfico, para que, dessa forma, possam ser definidas as equações empregadas no método.

Foi estabelecido um sistema de referencia (X,Y) local, com origem no Pilar P1, coordenadas ($x= 1000,000$ m; $y= 1000,000$ m), eixo X orientado positivamente na direção P1-P3 e eixo Y perpendicular a este, orientado positivamente em direção ao muro da barragem, conforme ilustrado na figura 37.

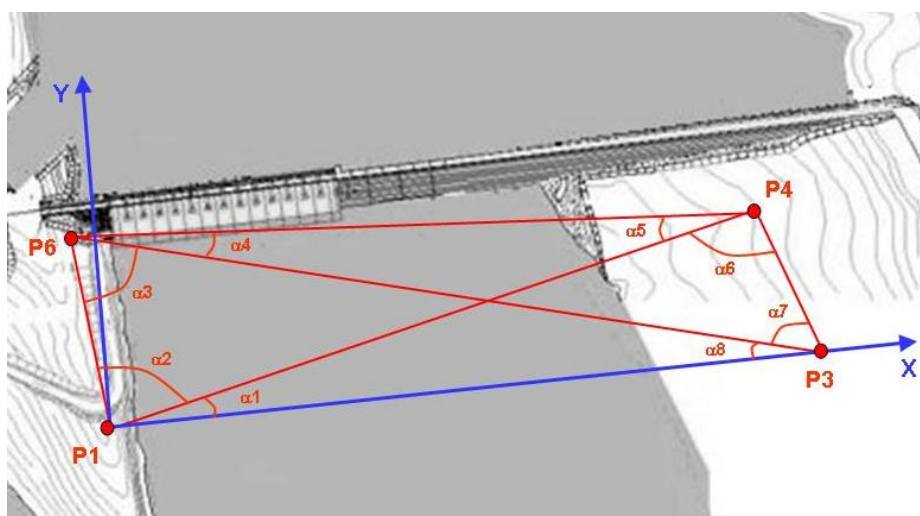


FIGURA 37 - SISTEMA DE REFERENCIA LOCAL

FONTE: Adaptado GRANEMANN , (2005)

Como foi mencionado em itens anteriores à rede externa de monitoramento e as fissuras foram divididas em jusante e montante e os resultados serão apresentados nesta ordem.

4.1.1 Rede Externa à Jusante

As coordenadas aproximadas da rede externa de monitoramento a jusante, foram calculadas através de método topográfico e utilizadas no processo de ajustamento pelo método de variação de coordenadas.

TABELA 1 - COORDENADAS APROXIMADAS DA REDE EXTERNA À JUSANTE

<i>Coordenadas Aproximadas Rede Externa a Jusante</i>		
Pilar	X(m)	Y(m)
P1	1000,000	1000,000
P3	1581,866	1000,000
P4	1640,683	1197,188
P6	988,081	1232,504

4.1.1.1 Ajustamento das Observações (Campanha Outubro/06)

Aplicando os conceitos definidos no item 3.2.5 o ajustamento da rede apresentou os seguintes resultados.

A matriz L é a diferença entre os valores observados (L_b) valores aproximados (L_0).

$$L = L_0 - L_b = \begin{bmatrix} 0,000196306051435613 \\ -0,000117649999992864 \\ 0,000450779879884067 \\ 0,00102037124145227 \\ -0,0011149505096455 \\ -0,00130442299479228 \\ 9,47308585064199\text{e-}006 \\ 3,14816247681815\text{e-}007 \\ 1,76919240191253\text{e-}006 \\ -2,25738401127273\text{e-}006 \\ 6,87996460113638\text{e-}006 \\ -6,23233346974672\text{e-}006 \\ -2,75357024986933\text{e-}006 \\ -1,3011535577423\text{e-}005 \end{bmatrix}$$

Onde os elementos L_1 a L_6 , são os resíduos das distâncias e os elementos L_7 a L_{14} são os resíduos dos ângulos.

A matriz dos pesos (P) foi definida utilizando o inverso do quadrado da precisão nominal linear do equipamento ($\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$) para as distâncias e precisão nominal angular do equipamento ($\pm 3''$) para os ângulos.

Optou-se por utilizar a matriz dos pesos desta maneira uma vez que esta é mais comumente encontrada nas literaturas consultadas (FAGGION, 1998).

[illegible]

Matriz das derivadas parciais (A).

$$A = \begin{bmatrix} -0,28583432516725 & -0,958279050462955 & 0,28583432516725 & 0,958279050462955 & 0 & 0 \\ 1 & 6,12323399573677e-017 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,931161151920071 & -0,364607884109609 & 0 & 0 & -0,931161151920071 & 0,364607884109609 \\ 0 & 0 & 0,998538954900174 & -0,0540366130218024 & -0,998538954900174 & 0,0540366130218024 \\ 0 & 0 & 0,955756040508542 & 0,294160485163175 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,0511964072524419 & 0,998688604062569 \\ 0 & 0 & 90,5133408449156 & -294,086652091116 & -884,814965143018 & -45,3588306848038 \\ 2,17061560284215e-014 & -354,488429537957 & -90,5133408449156 & 294,086652091116 & 0 & 0 \\ -117,936197756935 & 53,2947073434914 & 0 & 0 & 117,936197756935 & 301,193722194465 \\ -842,63387792628 & 587,711411615016 & 960,570075683215 & -286,517689420551 & -117,936197756935 & -301,193722194465 \\ 960,570075683215 & -286,517689420551 & -870,0567348383 & -7,56896267056487 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -107,56750908162 & -21,0561811745465 & 17,0541682367049 & 315,142833265663 \\ -117,936197756935 & -301,193722194465 & 17,0541682367049 & 315,142833265663 & 100,882029520231 & -13,9491110711975 \\ 117,936197756935 & 301,193722194465 & 0 & 0 & 766,878767386083 & -255,834891509661 \end{bmatrix}$$

De posse dessas matrizes calculou-se o vetor das correções X para as coordenadas dos pilares P3, P4 e P6.

$$X = \begin{bmatrix} 0,000101076668194366 \\ -0,00635334325966141 \\ 0,00226437180005945 \\ -0,00696131251899601 \\ 0,00253664655908636 \\ 0,000170514801955513 \end{bmatrix}$$

A matriz dos resíduos V é dada por:

$$V = AX + L \quad (38)$$

e no ajustamento das observações realizadas na rede externa a Jusante.

$$V = \begin{bmatrix} 0,000232047175183292 \\ -1,65696092280774e-005 \\ 0,000561525983351317 \\ 0,00113387826743626 \\ -0,000998502259097173 \\ -0,00126399750063336 \\ -2,76825787664663e-006 \\ 2,04091057502795e-006 \\ 2,0403542746984e-006 \\ 1,31197443472129e-006 \\ 1,31334995497442e-006 \\ -3,494722721946e-006 \\ -3,49392479753715e-006 \\ -2,76744805019387e-006 \end{bmatrix}$$

Finalmente são apresentadas as coordenadas ajustadas dos pilares da rede externa a jusante.

TABELA 2 - COORDENADAS AJUSTADAS DA REDE EXTERNA À JUSANTE – OUTUBRO/06

<i>Coordenadas Ajustadas Rede Externa a Jusante</i>				
Pilar	X(m)	σ(m)	Y(m)	σ(m)
P3	1581,866	0,0019	999,994	0,0392
P4	1640,685	0,0474	1197,181	0,0476
P6	988,084	0,0627	1232,504	0,0005

Na seqüência são apresentados os resultados para todas as campanhas realizadas no intervalo entre Outubro de 2006 e Outubro de 2007 (Tabela 3). No Apêndice são apresentados as rotinas utilizadas em *Matlab*.

TABELA 3 - COORDENADAS AJUSTADAS DE TODAS AS CAMPANHAS DA REDE EXTERNA À JUSANTE

Coord.	Out/06(m)	$\sigma(m)$	Fev/07(m)	$\sigma(m)$	Mai/07(m)	$\sigma(m)$	Out/07(m)	$\sigma(m)$
X3	1581,8661	0,0019	1581,8668	0,0048	1581,8653	0,0048	1581,8645	0,0051
Y3	999,9936	0,0392	999,9981	0,0001	999,9981	0,0001	999,9981	0,0001
X4	1640,6853	0,0474	1640,6845	0,0006	1640,6829	0,0006	1640,6820	0,0061
Y4	1197,1810	0,0476	1197,1862	0,0006	1197,1856	0,0006	1197,1854	0,0006
X6	988,0835	0,0627	988,0818	0,0001	988,0818	0,0001	988,0818	0,0001
Y6	1232,5042	0,0005	1232,5044	0,0008	1232,5038	0,0008	1232,5034	0,0008

TABELA 4 - DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS AJUSTADAS DE TODAS AS CAMPANHAS DA REDE EXTERNA À JUSANTE

Coord.	Out/06(m)	Fev/07(m)	Mai/07(m)	Out/07(m)
X3	Fixa	0,0007	-0,0008	-0,0016
Y3	Fixa	0,0044	0,0044	0,0044
X4	Fixa	-0,0007	-0,0024	-0,0033
Y4	Fixa	0,0051	0,0046	0,0043
X6	Fixa	-0,0018	-0,0018	-0,0017
Y6	Fixa	0,0002	-0,0004	-0,0007

4.1.1.2 Teste Estatístico de Fisher

Com o intuito de verificar se as diferenças encontradas nas coordenadas ajustadas da rede externa à Jusante, são significativas, realizou-se uma análise aplicando o Teste de Fisher unilateral com significância de 5%.

Hipótese Básica: $H_0: F_{\text{calculado}} < F_{\text{teórico}}$

Hipótese Alternativa: $H_1: F_{\text{calculado}} > F_{\text{teórico}}$

$F_{\text{calculado}}$:

$$\hat{\sigma}_0^2 \text{ época variável} / \hat{\sigma}_0^2 \text{ época fixa}$$

Onde: $\hat{\sigma}_0^2$ é o sigma *a posteriori*

Como o valor calculado para F em todas as comparações é menor que o valor de F teórico, a hipótese básica não é rejeitada, ou seja é aceita, comprovando que não teve deformação ao nível de significância de 5%.

TABELA 5 - REDE EXTERNA À JUSANTE - TESTE DE FISHER

<i>Campanha</i>	<i>Sigma Posteriori</i>	<i>F-teórico</i>	<i>F-calculado</i>	<i>Fisher</i>
Out_06	0.0940	Fixo	Fixo	Fixo
Fev_07	0.2386	3,4380	2,5390	Aceito
Mai_07	0.1301	3,4380	1,3838	Aceito
Out_07	0.2499	3,4380	2,6583	Aceito

4.1.2 Rede Externa à Montante

As coordenadas aproximadas da rede externa de monitoramento a montante, também foram calculadas através de método topográfico, para posterior utilização no processo de ajustamento pelo método de variação de coordenadas.

TABELA 6 - COORDENADAS APROXIMADAS DA REDE EXTERNA À MONTANTE

<i>Coordenadas Aproximadas Rede Externa a Montante</i>		
Pilar	X(m)	Y(m)
MGE06	1324,896	1248,574

4.1.2.1 Ajustamento das Observações (Campanha Outubro/06)

As matrizes do método de Variação de Coordenadas para a rede externa a Jusante são apresentadas na seqüência.

A matriz L , é a diferença entre os valores observados e valores aproximados.

$$L = L_0 - L_b = \begin{bmatrix} 0,000110173486859821 \\ 0,006535436863316590 \\ 1,07794401497108e-005 \\ 1,50554570677031e-006 \\ 1,49453825821766e-005 \end{bmatrix}$$

A matriz dos pesos (P) foi definida da mesma maneira e pelo mesmo motivo que a rede externa a Jusante.

$$P = \begin{bmatrix} 125912,479640479 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 135658,559420388 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4727241425,67121 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4727241425,67121 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4727241425,67121 \end{bmatrix}$$

Matriz das derivadas parciais (A).

$$A = \begin{bmatrix} 0,794211406195111 & 0,607641540934772 \\ -0,718742803241567 & 0,695276047903603 \\ -306,382857273064 & 400,454451377012 \\ 401,126565339639 & 414,665272730417 \\ -94,7437080665754 & -815,119724107429 \end{bmatrix}$$

As equações que geram a matriz derivadas parciais (A), podem ser encontradas no Apêndice A transcritas em *MATLAB*.

De posse dessas matrizes calculou-se o vetor das correções X para as coordenadas do ponto MGE06.

$$X = \begin{bmatrix} 1324,89600001299 \\ 1248,57400000569 \end{bmatrix}$$

A matriz dos resíduos V é dada por:

$$V = AX + L \quad (39)$$

e no ajustamento das observações realizadas na rede externa a Jusante.

$$V = \begin{bmatrix} 0,000110187263929643 \\ 0,006535431479441000 \\ 9,07652477240448e-006 \\ 9,07694364455200e-006 \\ 9,07690002170119e-006 \end{bmatrix}$$

Finalmente são apresentadas as coordenadas ajustadas dos pilares da rede externa.

TABELA 7 - COORDENADAS AJUSTADAS DA REDE EXTERNA À MONTANTE

Coordenadas Ajustadas Rede Externa a Montante				
Pilar	X(m)	$\sigma(m)$	Y(m)	$\sigma(m)$
MGE06	1324,896	1,97E-11	1248,574	5,22E-12

TABELA 8 - COORDENADAS AJUSTADAS DAS CAMPANHAS DA REDE EXTERNA À MONTANTE

Coord.	Jul/07(m)	$\sigma(m)$	Out/07(m)	$\sigma(m)$
X_MGE06	1324,8960	1,97E-11	1324,8940	4,80E-11
Y_MGE06	1248,5740	5,22E-11	1248,5780	1,27E-11

TABELA 9 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS AJUSTADAS ENTRE AS CAMPANHAS DA REDE EXTERNA À MONTANTE

Coord.	Diferença(m)
X_MGE06	0,0020
Y_MGE06	-0,0040

4.1.2.2 Teste Estatístico de Fisher

Com o intuito de verificar se as diferenças encontradas nas coordenadas ajustadas da rede externa a Montante, entre as duas, campanhas são significativas, realizou-se uma análise aplicando o Teste de Fisher unilateral com significância de 5%.

Hipótese Básica: $H_0: F_{\text{calculado}} < F_{\text{teórico}}$

Hipótese Alternativa: $H_1: F_{\text{calculado}} > F_{\text{teórico}}$

$F_{\text{calculado}}$:

$$\hat{\sigma}_0^2 \text{ época 1} / \hat{\sigma}_0^2 \text{ época 2}$$

Onde: σ_0^2 é o sigma a *posteriori*

Como o valor calculado para F entre as duas campanhas é menor que o valor de F teórico, a hipótese básica é aceita, ou seja, não teve deslocamento ao nível de significância de 5%.

TABELA 10 - REDE EXTERNA A MONTANTE - TESTE DE FISHER

<i>Campanha</i>	<i>Sigam Posteriori</i>	<i>F-teórico</i>	<i>F-calculado</i>	<i>Fisher</i>
Jul_07	2.3214	Fixo	Fixo	Fixo
Out_07	5.6571	9,2800	2,4370	Aceito

4.2 RESULTADO DAS FISSURAS (BLOCOS)

Foram realizadas quatro campanhas de observações das fissuras em Outubro/06, Fevereiro/07, Maio/07 e Outubro/07, com o intuito de realizar análises entre duas épocas para verificar a estabilidade dos blocos.

4.2.1 Fissuras à Jusante

Em algumas campanhas não foi possível realizar as observações em alguns outros pontos como na campanha de Outubro/06 na fissura1(Bloco 5) em virtude dos prismas estarem obstruídos por causa da vegetação próxima ao mesmo, desta forma não dando retorno ao sinal da estação total.

A seguir são apresentadas as tabelas por campanha das três fissuras localizadas na usina Hidroelétrica de Salto Caxias.

TABELA 11 - COORDENADAS DA FISSURA 1 (BLOCO 5) À JUSANTE - OUTUBRO/06

OUTUBRO/06				
FISSURA 1 (BLOCO 5)				
Ponto	X(m)	σ (m)	Y(m)	σ (m)
MGE10	1335,4023	0,0012	1255,8719	0,0012
MGE09	1337,6386	0,0018	1255,8409	0,0018
MGE11	SEM PRISMA		SEM PRISMA	
MGE12	1336,5589	0,0006	1257,0692	0,0006
MGE13	SEM LEITURA		SEM LEITURA	
MGE14	SEM LEITURA		SEM LEITURA	
MGE15	SEM LEITURA		SEM LEITURA	
MGE16	1337,5999	0,0017	1237,2682	0,0016

TABELA 12 - COORDENADAS DA FISSURA 2 (BLOCO 8) À JUSANTE - OUTUBRO/06

OUTUBRO/06				
FISSURA 2 (BLOCO 8)				
Ponto	X(m)	σ (m)	Y(m)	σ (m)
MGE19	1466,4830	0,0011	1253,7382	0,0023
MGE20	1469,3029	0,0011	1253,6985	0,0023
MGE21	1467,7103	0,0010	1254,9298	0,0023
MGE22	1469,5273	0,0010	1254,9152	0,0022
MGE23	1467,2854	0,0004	1247,2963	0,0005
MGE24	1469,0008	0,0003	1247,2763	0,0005
MGE25	1467,0465	0,0003	1236,9486	0,0005
MGE26	1468,3374	0,0003	1236,9341	0,0005

TABELA 13 - COORDENADAS DA FISSURA 3 (BLOCO 11) À JUSANTE - OUTUBRO/06

OUTUBRO/06				
FISSURA 3 (BLOCO 11)				
Ponto	X(m)	σ (m)	Y(m)	σ (m)
MGE29	1578,3108	0,0004	1251,9119	0,0011
MGE30	1579,6242	0,0003	1251,9089	0,0010
MGE31	1577,9731	0,0003	1253,1375	0,0011
MGE32	1579,4794	0,0002	1253,1141	0,0011
MGE33	1577,3451	0,0003	1245,2927	0,0012
MGE34	1578,6183	0,0004	1245,2726	0,0010
MGE35	1576,5921	0,0003	1233,5778	0,0009
MGE36	1577,5393	0,0004	1233,5811	0,0007

TABELA 14 - COORDENADAS DA FISSURA 1 (BLOCO 5) À JUSANTE - FEVEREIRO/07

FEVEREIRO/07				
FISSURA 1 (BLOCO 5)				
Ponto	X(m)	σ (m)	Y(m)	σ (m)
MGE10	1335,4025	0,0024	1255,8757	0,0024
MGE09	1337,6385	0,0028	1255,8439	0,0029
MGE11	SEM PRISMA		SEM PRISMA	
MGE12	1336,5591	0,0014	1257,0714	0,0015
MGE13	SEM LEITURA		SEM LEITURA	
MGE14	1336,3887	0,0010	1247,1604	0,0011
MGE15	SEM LEITURA		SEM LEITURA	
MGE16	1337,6065	0,0011	1237,2723	0,0011

TABELA 15 - COORDENADAS DA FISSURA 2 (BLOCO 8) À JUSANTE – FEVEREIRO/07

FEVEREIRO/07				
FISSURA 2 (BLOCO 8)				
Ponto	X(m)	σ (m)	Y(m)	σ (m)
MGE19	1466,4752	0,0014	1253,7412	0,0029
MGE20	1469,2971	0,0012	1253,7020	0,0027
MGE21	1467,7025	0,0012	1254,9303	0,0025
MGE22	1469,5200	0,0012	1254,9167	0,0028
MGE23	1467,2796	0,0005	1247,2965	0,0007
MGE24	1468,9932	0,0004	1247,2766	0,0007
MGE25	1467,0421	0,0004	1236,9488	0,0006
MGE26	1468,3318	0,0004	1236,9343	0,0008

TABELA 16 - COORDENADAS DA FISSURA 3 (BLOCO 11) À JUSANTE – FEVEREIRO/07

FEVEREIRO/07				
FISSURA 3 (BLOCO 11)				
Ponto	X(m)	σ (m)	Y(m)	σ (m)
MGE29	1578,3139	0,0005	1251,9090	0,0016
MGE30	1579,6265	0,0007	1251,9061	0,0016
MGE31	1577,9742	0,0005	1253,1340	0,0017
MGE32	1579,4825	0,0005	1253,1105	0,0014
MGE33	1577,3492	0,0005	1245,2881	0,0016
MGE34	1578,6205	0,0003	1245,2676	0,0014
MGE35	1576,5953	0,0002	1233,5723	0,0011
MGE36	1577,5396	0,0003	1233,5757	0,0010

TABELA 17 - COORDENADAS DA FISSURA 1 (BLOCO 5) À JUSANTE - MAIO/07

MAIO/07				
FISSURA 1 (BLOCO 5)				
Ponto	X(m)	σ (m)	Y(m)	σ (m)
MGE10	1335,4021	0,0012	1255,8755	0,0012
MGE09	1337,6402	0,0015	1255,8436	0,0016
MGE11	SEM PRISMA		SEM PRISMA	
MGE12	1336,5592	0,0009	1257,0723	0,0009
MGE13	1330,1807	0,0005	1247,2809	0,0010
MGE14	1336,384	0,0011	1247,1688	0,0011
MGE15	1329,7859	0,0016	1237,4179	0,0015
MGE16	1337,6019	0,0018	1237,2712	0,0017

TABELA 18 - COORDENADAS DA FISSURA 2 (BLOCO 8) À JUSANTE - MAIO/07

MAIO/07				
FISSURA 2 (BLOCO 8)				
Ponto	X(m)	σ (m)	Y(m)	σ (m)
MGE19	1466,4842	0,0007	1253,7425	0,0016
MGE20	1469,3041	0,0006	1253,7031	0,0013
MGE21	1467,7109	0,0007	1254,9322	0,0014
MGE22	1469,5268	0,0006	1254,9180	0,0014
MGE23	1467,2872	0,0002	1247,3001	0,0003
MGE24	1469,0020	0,0003	1247,2789	0,0003
MGE25	1467,0488	0,0002	1236,9519	0,0003
MGE26	1468,3395	0,0002	1236,9369	0,0003

TABELA 19 - COORDENADAS DA FISSURA 3 (BLOCO 11) À JUSANTE - MAIO/07

MAIO/07				
FISSURA 3 (BLOCO 11)				
Ponto	X(m)	σ (m)	Y(m)	σ (m)
MGE29	1578,3129	0,0002	1251,9068	0,0007
MGE30	1579,6243	0,0002	1251,9040	0,0007
MGE31	1577,9720	0,0003	1253,1318	0,0010
MGE32	1579,4807	0,0003	1253,1084	0,0006
MGE33	1577,3458	0,0001	1245,2876	0,0006
MGE34	1578,6184	0,0001	1245,2668	0,0009
MGE35	1576,5925	0,0001	1233,5723	0,0004
MGE36	1577,5391	0,0002	1233,5754	0,0005

TABELA 20 - COORDENADAS DA FISSURA 1 (BLOCO 5) À JUSANTE - OUTUBRO/07

OUTUBRO/07				
FISSURA 1 (BLOCO 5)				
Ponto	X(m)	σ (m)	Y(m)	σ (m)
MGE10	1335,4057	0,0016	1255,8708	0,0017
MGE09	1337,6431	0,0021	1255,8402	0,0022
MGE11	SEM PRISMA		SEM PRISMA	
MGE12	1336,5634	0,0008	1257,0667	0,0009
MGE13	1330,1857	0,0006	1247,2771	0,0006
MGE14	1330,1848	0,0008	1247,2760	0,0008
MGE15	SEM PRISMA		SEM LEITURA	
MGE16	SEM PRISMA		SEM LEITURA	

TABELA 21 - COORDENADAS DA FISSURA 2 (BLOCO 8) À JUSANTE - OUTUBRO/07

OUTUBRO/07				
FISSURA 2 (BLOCO 8)				
Ponto	X(m)	σ (m)	Y(m)	σ (m)
MGE19	1466,4810	0,0007	1253,7366	0,0014
MGE20	1469,3002	0,0009	1253,6981	0,0019
MGE21	1467,7073	0,0007	1254,9263	0,0015
MGE22	1469,5239	0,0006	1254,9122	0,0013
MGE23	1467,2817	0,0002	1247,2930	0,0003
MGE24	1468,9973	0,0001	1247,2720	0,0002
MGE25	1467,0432	0,0001	1236,9439	0,0002
MGE26	1468,3332	0,0003	1236,9294	0,0003

TABELA 22 - COORDENADAS DA FISSURA 3 (BLOCO 11) À JUSANTE - OUTUBRO/07

OUTUBRO/07				
FISSURA 3 (BLOCO 11)				
Ponto	X(m)	σ (m)	Y(m)	σ (m)
MGE29	1578,3132	0,0004	1251,9046	0,0008
MGE30	1579,6265	0,0002	1251,9010	0,0007
MGE31	1577,9746	0,0004	1253,1287	0,0017
MGE32	1579,4829	0,0004	1253,1046	0,0006
MGE33	1577,3475	0,0001	1245,2837	0,0006
MGE34	1578,6212	0,0001	1245,2630	0,0006
MGE35	1576,5936	0,0001	1233,5687	0,0004
MGE36	1577,5418	0,0001	1233,5710	0,0004

4.2.1.1 Interpretação dos deslocamentos

O comportamento das fissuras foi analisado realizando a comparação entre dados de levantamentos de duas épocas distintas. A primeira análise foi realizada entre as campanhas de Outubro/06 e Outubro/07 e uma segunda análise entre as campanhas de Fevereiro/07 e Maio/07, objetivando desta maneira simular épocas com variações sazonais e uma terceira comparação entre a campanha realizada em Outubro/06 onde o concreto está contraído, pois está no fim do inverno e em Maio/07 onde o concreto está dilatado, em função do final do verão.

Na figura 27 localizada na página 54, apresenta-se a disposição dos pontos de monitoramento com suas respectivas nomenclaturas.

TABELA 23 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DAS FISSURAS À JUSANTE - OUTUBRO/06 E OUTUBRO/07

OUTUBRO/06 - OUTUBRO/07								
Fissura1			Fissura2			Fissura3		
Ponto	X(m)	Y(m)	Ponto	X(m)	Y(m)	Ponto	X(m)	Y(m)
MGE10	-0,0034	0,0011	MGE19	0,0020	0,0016	MGE29	-0,0024	0,0073
MGE09	-0,0045	0,0007	MGE20	0,0027	0,0004	MGE30	-0,0023	0,0079
MGE11	SEM PRISMA		MGE21	0,0030	0,0035	MGE31	-0,0015	0,0088
MGE12	-0,0045	0,0025	MGE22	0,0034	0,0030	MGE32	-0,0035	0,0095
MGE13	SEM LEITURA		MGE23	0,0037	0,0033	MGE33	-0,0024	0,0090
MGE14	SEM LEITURA		MGE24	0,0035	0,0043	MGE34	-0,0029	0,0096
MGE15	SEM LEITURA		MGE25	0,0033	0,0047	MGE35	-0,0015	0,0091
MGE16	SEM LEITURA		MGE26	0,0042	0,0047	MGE36	-0,0025	0,0101

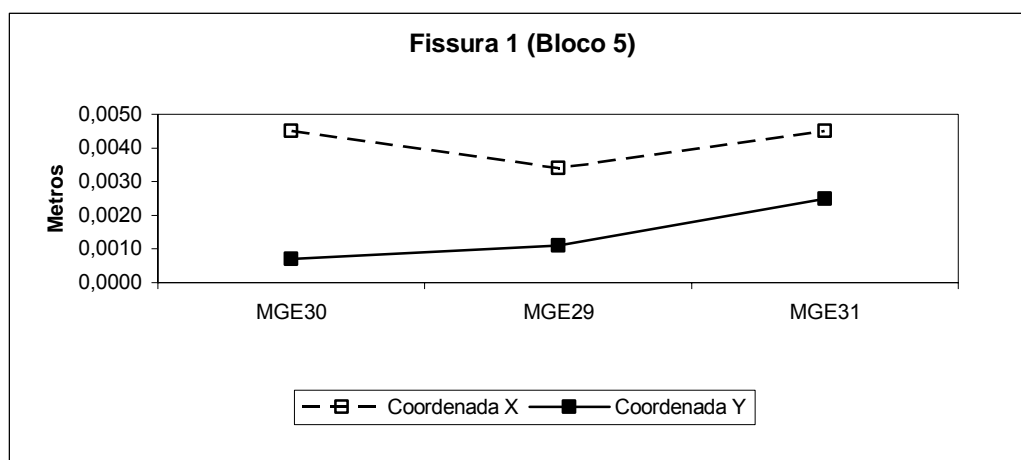


FIGURA 38 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 1 À JUSANTE

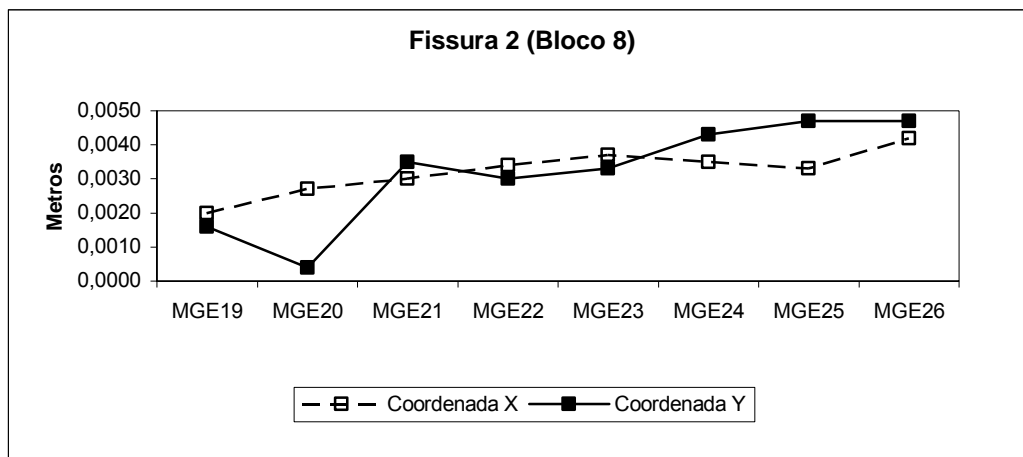


FIGURA 39 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À JUSANTE

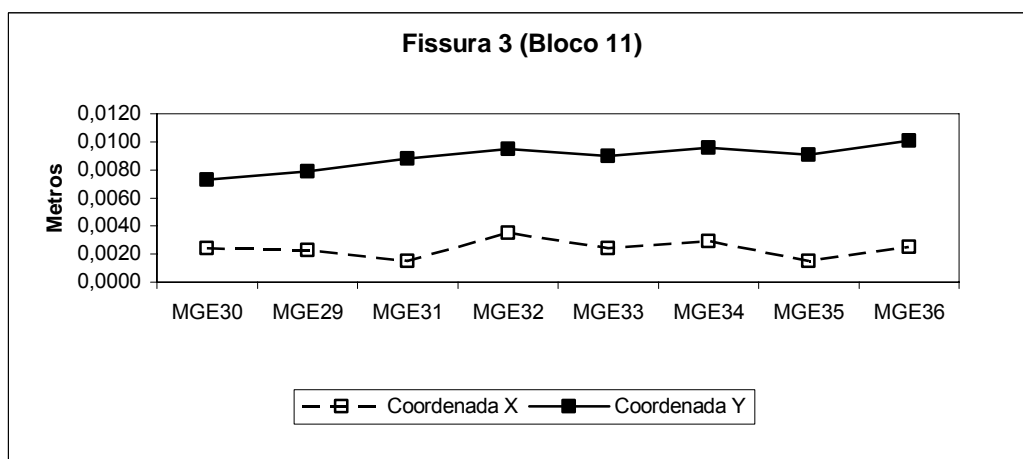


FIGURA 40 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 3 À JUSANTE

TABELA 24 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DAS FISSURAS À JUSANTE - FEVEREIRO/07 E MAIO/07

FEVEREIRO/07 - MAIO/07								
Fissura1			Fissura2			Fissura3		
Ponto	X(m)	Y(m)	Ponto	X(m)	Y(m)	Ponto	X(m)	Y(m)
MGE10	-0,0017	0,0003	MGE19	-0,0070	-0,0011	MGE29	0,0022	0,0021
MGE09	0,0004	0,0002	MGE20	-0,0090	-0,0013	MGE30	0,0010	0,0022
MGE11	SEM PRISMA		MGE21	-0,0084	-0,0019	MGE31	0,0022	0,0022
MGE12	-0,0001	-0,0009	MGE22	-0,0068	-0,0013	MGE32	0,0018	0,0021
MGE13	SEM LEITURA		MGE23	-0,0076	-0,0036	MGE33	0,0034	0,0005
MGE14	0,0047	-0,0084	MGE24	-0,0088	-0,0023	MGE34	0,0021	0,0008
MGE15	SEM LEITURA		MGE25	-0,0067	-0,0031	MGE35	0,0028	0,0000
MGE16	0,0046	0,0011	MGE26	-0,0077	-0,0026	MGE36	0,0005	0,0003

A maior diferença encontrada entre as fissuras à jusante foi de 10 mm.

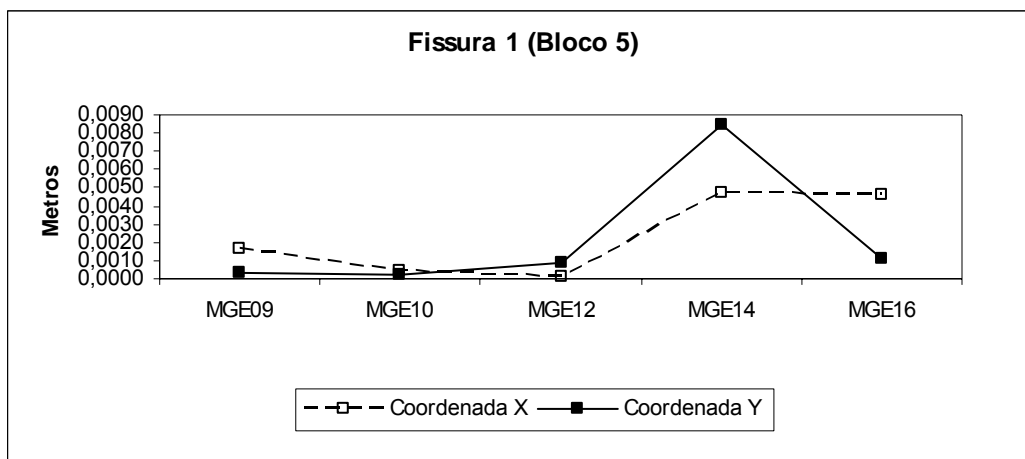


FIGURA 41 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 1 À JUSANTE

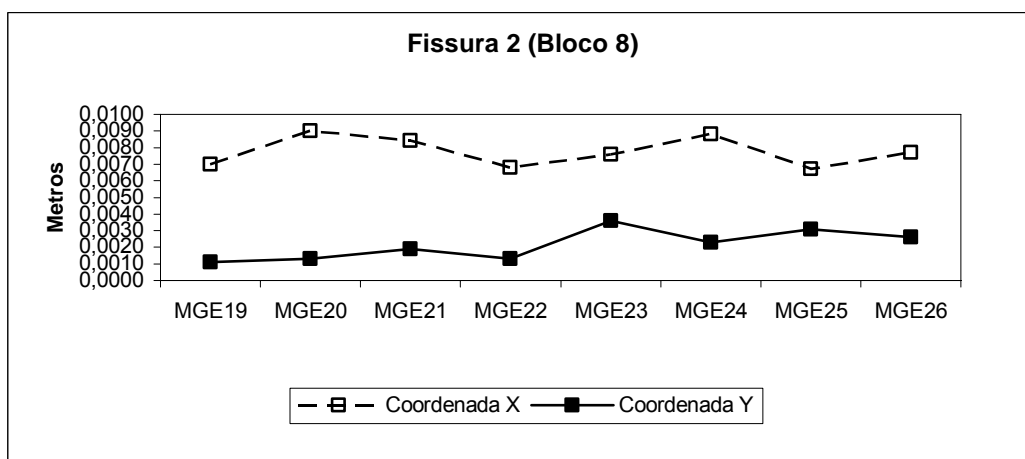


FIGURA 42 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À JUSANTE

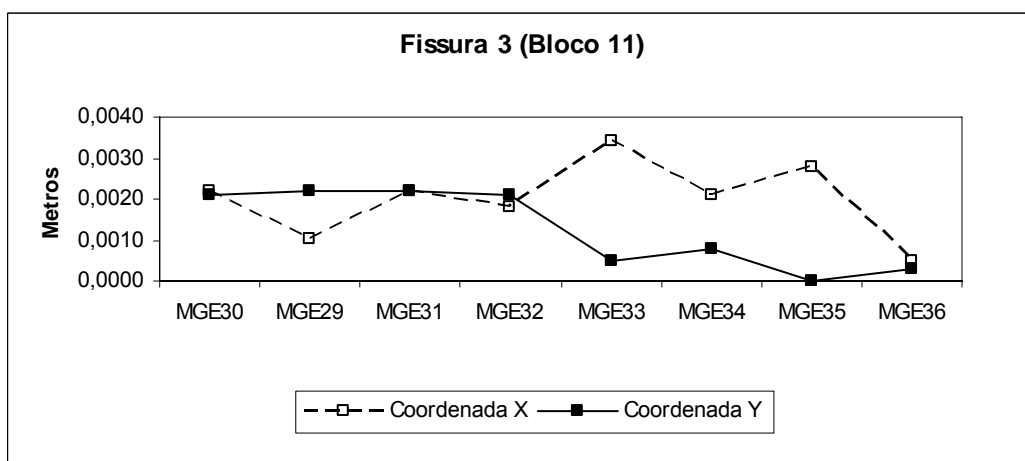


FIGURA 43 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 3 À JUSANTE

TABELA 25 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DAS FISSURAS À JUSANTE - OUTUBRO/06 E MAIO/07

OUTUBRO/06 - MAIO/07								
Fissura1			Fissura2			Fissura3		
Ponto	X(m)	Y(m)	Ponto	X(m)	Y(m)	Ponto	X(m)	Y(m)
MGE10	-0,0016	-0,0027	MGE19	-0,0012	-0,0046	MGE29	-0,0001	0,0049
MGE09	0,0002	-0,0036	MGE20	-0,0012	-0,0043	MGE30	-0,0021	0,0051
MGE11	SEM PRISMA		MGE21	-0,0006	-0,0024	MGE31	0,0011	0,0057
MGE12	-0,0003	-0,0031	MGE22	0,0005	-0,0028	MGE32	-0,0013	0,0057
MGE13	SEM LEITURA		MGE23	-0,0018	-0,0038	MGE33	-0,0007	0,0051
MGE14	SEM LEITURA		MGE24	-0,0012	-0,0026	MGE34	-0,0001	0,0058
MGE15	SEM LEITURA		MGE25	-0,0023	-0,0033	MGE35	-0,0004	0,0055
MGE16	-0,0020	-0,0030	MGE26	-0,0021	-0,0028	MGE36	-0,0002	0,0057

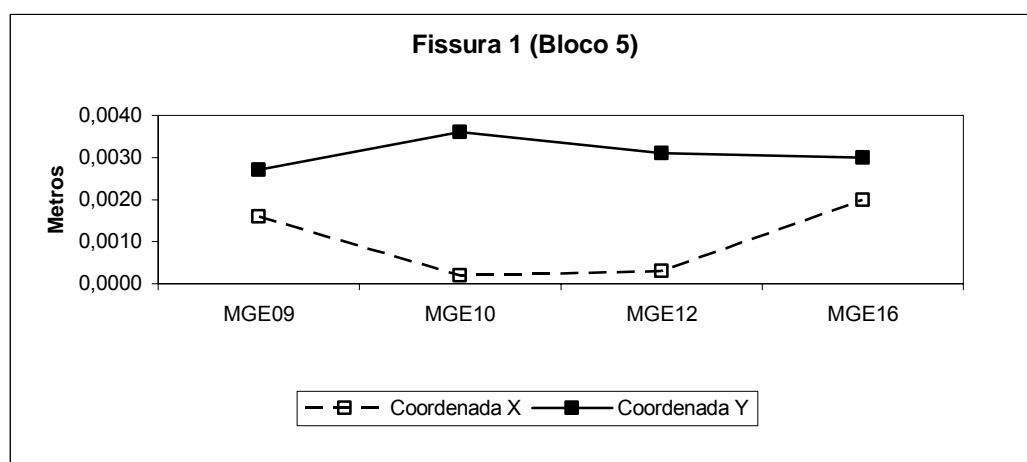


FIGURA 44 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 1 À JUSANTE

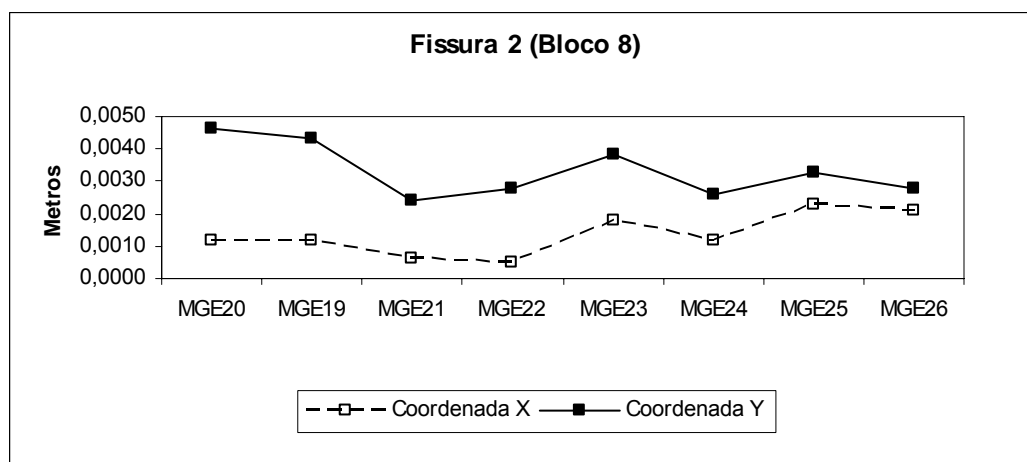


FIGURA 45 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À JUSANTE

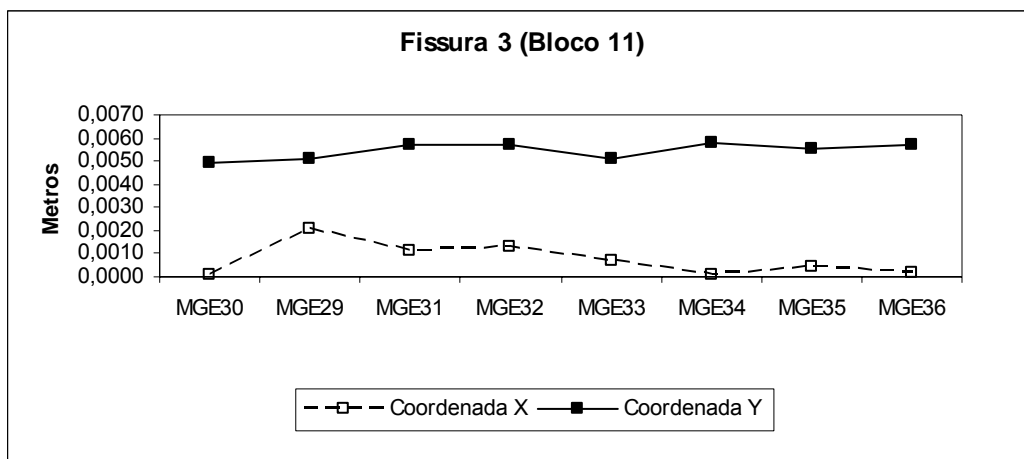


FIGURA 46 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 3 À JUSANTE

4.2.1.2 Teste Estatístico e Interpretações dos possíveis deslocamentos

Com as coordenadas de todas as fissuras (Blocos 5, Bloco 8 e Bloco 11), calcularam-se as diferenças entre duas épocas. Para verificar se estas variações são significativas aplicou-se o teste estatístico de Snedecor com distribuição F, a um nível de significância de 5%.

Hipótese Básica:

$$H_0 : \tilde{d} = \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} : \text{não existe diferença significativa entre as componentes.}$$

Hipótese Alternativa:

$$H_0 : \tilde{d} = \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} \neq \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} : \text{existe diferença significativa entre as componentes.}$$

As hipóteses básica e alternativa, tem-se:

d_x = vetor da componente x, resultante da diferença entre duas épocas;

d_y = vetor da componente y, resultante da diferença entre duas épocas.

$\tilde{d} = \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}$, vetor médio das diferenças entre componentes.

$$\tilde{d} = n^{-1} \cdot \sum_{j=1}^n \tilde{d}_j$$

$$S_d = n^{-1} \cdot \sum_{j=1}^n \tilde{d}_j (\tilde{d}_j - \tilde{d})(\tilde{d}_j - \tilde{d})^T$$

Estatística do teste:

$$VC = n \cdot (\tilde{d} - \tilde{d})^T \cdot (S_d)^{-1} \cdot (\tilde{d}_j - \tilde{d}) \quad (40)$$

Como:

$$VT = \frac{p(n-1)}{n-p} F(\alpha)_{p, n-p};$$

Sendo:

n = número de pontos;

p = número de variáveis.

Rejeita-se H_0 , se:

$$VC > \frac{p(n-1)}{n-p} F(\alpha)_{p, n-p}$$

Com este propósito calculou-se as diferenças entre as campanhas realizadas em Outubro de 2006 / Outubro de 2007, e Fevereiro de 2007 / Maio de 2007.

A seguir são apresentados os resultados entre as duas comparações a Jusante:

- Outubro de 2006 e Outubro de 2007

- Valor Teórico (VT)

$$VT = \frac{p(n-1)}{n-p} F(\alpha)_{p, n-p} = \frac{2(8-1)}{8-2} F(0,05)_{2,6} \cong 3.8 \quad (41)$$

- Valor Calculado (VC)

$$VC = 2.3$$

Como

$VC = 1.8 < \frac{p(n-1)}{n-p} F(\alpha)_{p, n-p}$, aceita-se a hipótese básica H_0 a um nível de significância de 5%, que não existe diferença significativa entre os valores encontrados.

- Fevereiro de 2007 e Maio de 2007

- Valor Teórico (VT)

$$VT = \frac{p(n-1)}{n-p} F(\alpha)_{p, n-p} = \frac{2(8-1)}{8-2} F(0,05)_{2,6} \cong 3.8$$

- Valor Calculado (VC)

$$VC = 2.0$$

Como

$VC = 2.0 < \frac{p(n-1)}{n-p} F(\alpha)_{p, n-p}$, aceita-se a hipótese básica H_0 a um nível de significância de 5%, que não existe diferença significativa entre os valores encontrados.

4.2.2 Fissuras à Montante

TABELA 26 - COORDENADAS DA FISSURA 1 (BLOCO 5) À MONTANTE - TODAS AS ÉPOCAS

<i>Ponto</i>	FISSURA 1 (BLOCO 5)			
	X(m)	σ(m)	Y(m)	σ(m)
OUTUBRO/06				
MGE07	1337,8153	0,0002	1264,5621	0,0002
MGE08	1338,5323	0,0002	1264,5574	0,0002
FEVEREIRO/07				
MGE07	1337,8158	0,0002	1264,5625	0,0001
MGE08	1338,5330	0,0001	1264,5581	0,0001
MAIO/07				
MGE07	1337,8147	0,0001	1264,5617	0,0001
MGE08	1338,5310	0,0001	1264,5569	0,0001
OUTUBRO/07				
MGE07	1337,8151	0,0001	1264,5615	0,0001
MGE08	1338,5313	0,0001	1264,5568	0,0001

TABELA 27 - COORDENADAS DA FISSURA 2 (BLOCO 8) À MONTANTE - TODAS AS ÉPOCAS

<i>Ponto</i>	FISSURA 2 (BLOCO 8)			
	X(m)	σ(m)	Y(m)	σ(m)
OUTUBRO/06				
MGE17	1467,3852	0,0023	1262,4235	0,0005
MGE18	1467,7265	0,0019	1262,4099	0,0003
FEVEREIRO/07				
MGE17	1467,3858	0,0008	1262,4294	0,0006
MGE18	1467,7287	0,0018	1262,4123	0,0002
MAIO/07				
MGE17	1467,3853	0,0007	1262,4242	0,0002
MGE18	1467,7261	0,0006	1262,4111	0,0001
OUTUBRO/07				
MGE17	1467,3883	0,0008	1262,4258	0,0003
MGE18	1467,7270	0,0009	1262,4112	0,0002

TABELA 28 - COORDENADAS DA FISSURA 3 (BLOCO 11) À MONTANTE - TODAS AS ÉPOCAS

Ponto	FISSURA 3 (BLOCO 11)			
	X(m)	σ(m)	Y(m)	σ(m)
OUTUBRO/06				
MGE27	1579,1570	0,0001	1260,6128	0,0019
MGE28	1579,5971	0,0034	1260,6048	0,0003
FEVEREIRO/07				
MGE27	1579,1594	0,0024	1260,6179	0,0008
MGE28	1579,6002	0,0025	1260,6074	0,0002
MAIO/07				
MGE27	1579,1571	0,0014	1260,6129	0,0002
MGE28	1579,5977	0,0012	1260,6038	0,0001
OUTUBRO/07				
MGE27	1579,1566	0,0014	1260,6147	0,0002
MGE28	1579,5978	0,0013	1260,6045	0,0004

4.2.2.1 Interpretação dos possíveis deslocamentos

TABELA 29 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DAS FISSURAS À MONTANTE - OUTUBRO/06 E OUTUBRO/07

OUTUBRO/06-OUTUBRO/07								
Ponto	Fissura1		Ponto	Fissura2		Ponto	Fissura3	
	X(m)	Y(m)		X(m)	Y(m)		X(m)	Y(m)
MGE07	0,0002	0,0006	MGE17	-0,0031	-0,0023	MGE27	0,0004	-0,0019
MGE08	0,0010	0,0006	MGE18	-0,0005	-0,0013	MGE28	-0,0007	0,0003

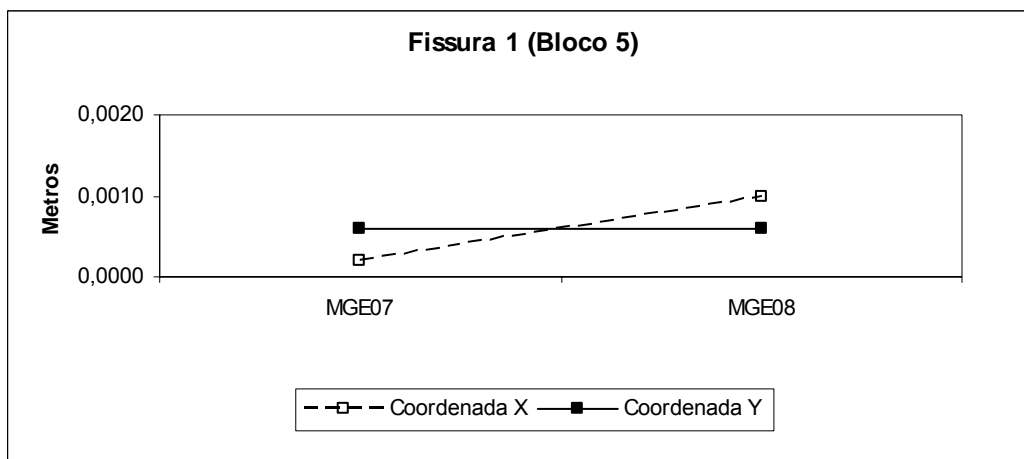


FIGURA 47 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 1 À MONTANTE

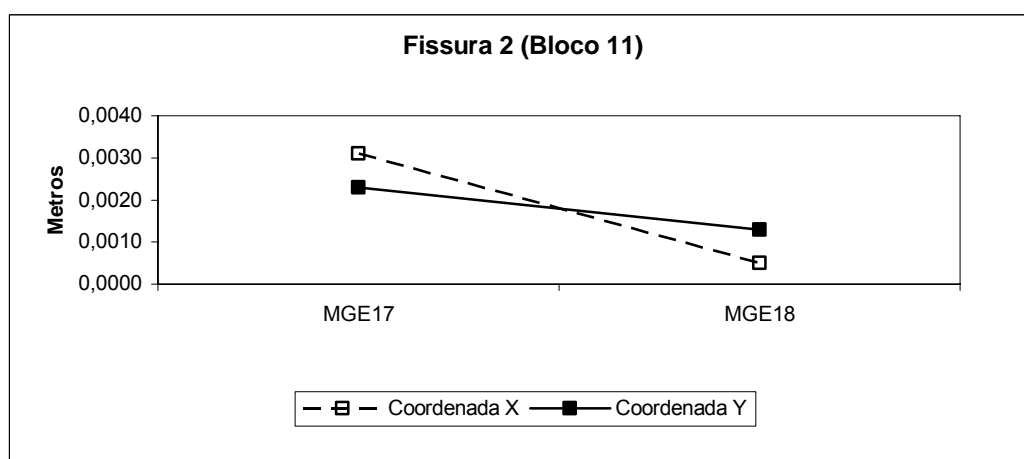


FIGURA 48 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À MONTANTE

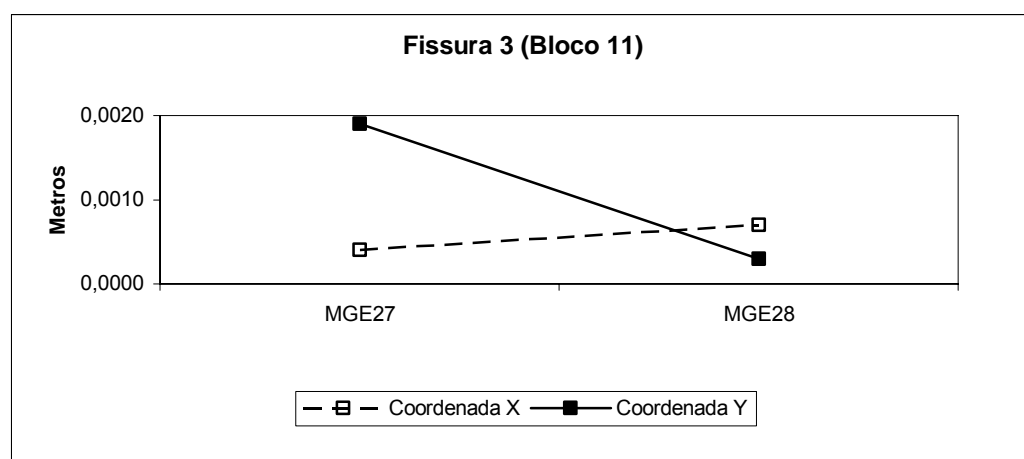


FIGURA 49 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 3 À MONTANTE

TABELA 30 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DAS FISSURAS À MONTANTE - FEVEREIRO/07 E MAIO/07

FEVEREIRO/07 - MAIO/07								
Ponto	Fissura1		Ponto	Fissura2		Ponto	Fissura3	
	X(m)	Y(m)		X(m)	Y(m)		X(m)	Y(m)
MGE07	0,0002	0,0006	MGE17	-0,0031	-0,0023	MGE27	0,0004	-0,0019
MGE08	0,0010	0,0006	MGE18	-0,0005	-0,0013	MGE28	-0,0007	0,0003

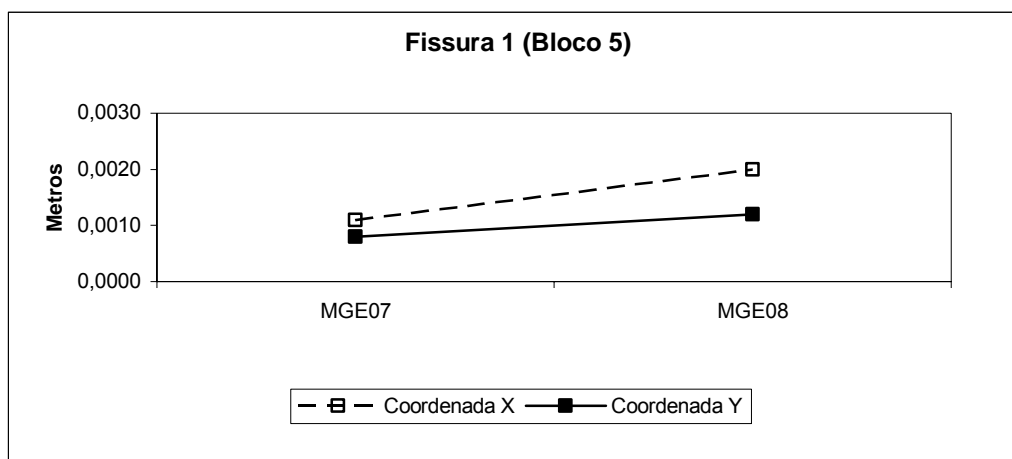


FIGURA 50 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 1 À MONTANTE

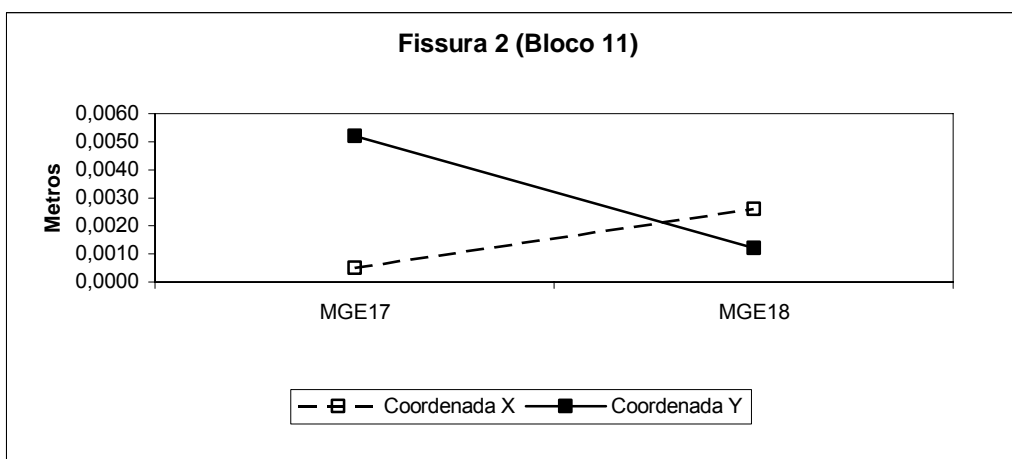


FIGURA 51 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À MONTANTE

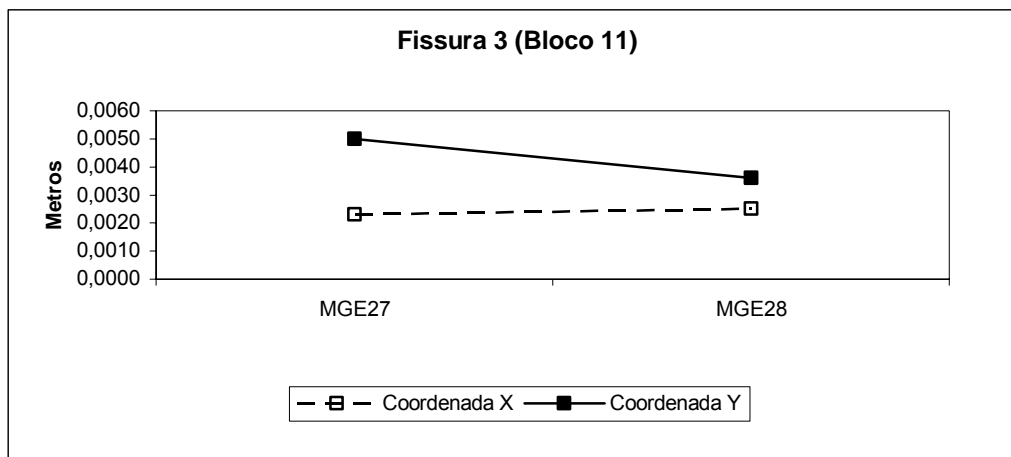


FIGURA 52 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À MONTANTE

TABELA 31 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DAS FISSURAS À MONTANTE - OUTUBRO/06 E MAIO/07

OUTUBRO/06 - MAIO/07								
Ponto	Fissura1		Ponto	Fissura2		Ponto	Fissura3	
	X(m)	Y(m)		X(m)	Y(m)		X(m)	Y(m)
MGE07	-0,0005	-0,0004	MGE17	-0,0006	-0,0059	MGE27	-0,0024	-0,0051
MGE08	-0,0007	-0,0007	MGE18	-0,0022	-0,0024	MGE28	-0,0031	-0,0026

A maior diferença encontrada entre as fissuras à montante foi de 5.9 mm.

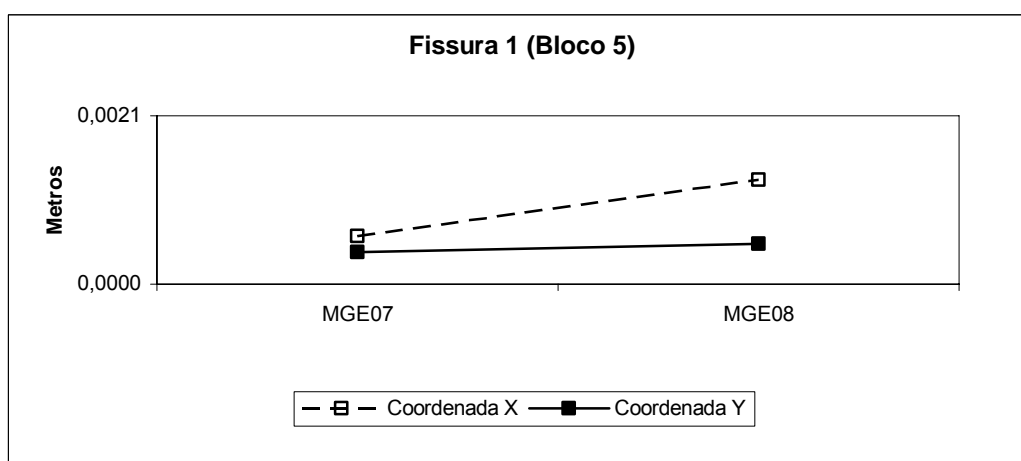


FIGURA 53 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 1 À MONTANTE

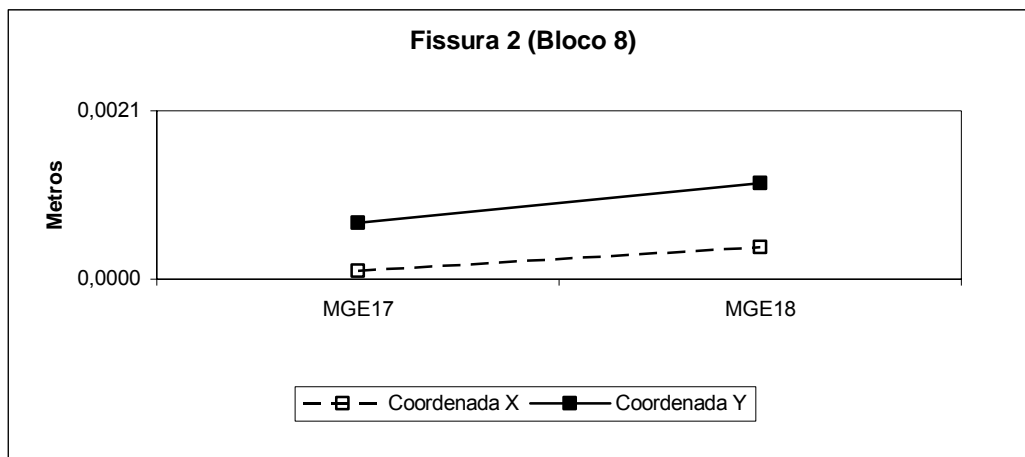


FIGURA 54 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À MONTANTE

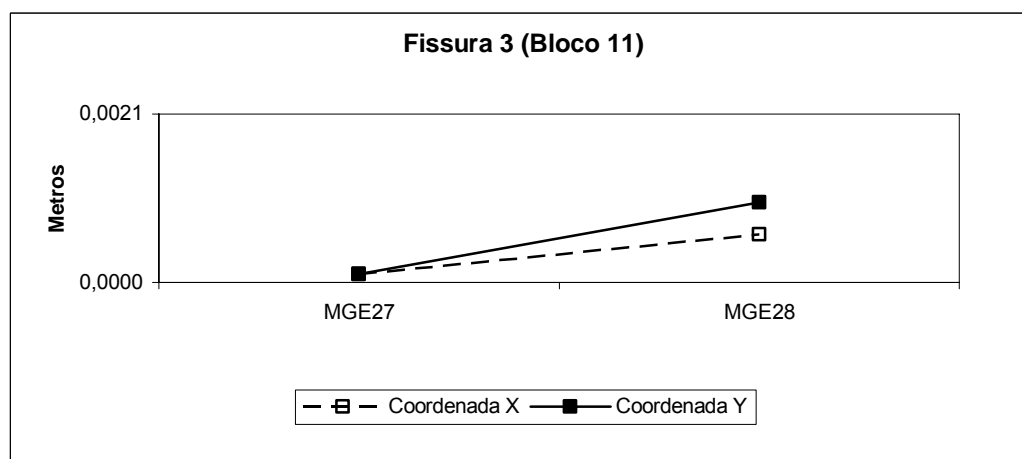


FIGURA 55 - VARIAÇÃO DAS COORDENADAS DA FISSURA 2 À MONTANTE

4.2.2.2 Teste Estatístico e Interpretações dos possíveis deslocamentos

Da mesma maneira que à Jusante calculou-se as diferenças entre as campanhas para a Montante, realizadas em Outubro de 2006 / Outubro de 2007, e Fevereiro de 2007 / Maio de 2007.

A seguir são apresentados os resultados entre as duas comparações a Montante:

- Outubro de 2006 e Outubro de 2007

- Valor Teórico (VT)

$$VT = \frac{p(n-1)}{n-p} F(\alpha)_{p,n-p} = \frac{2(2-1)}{2-2} F(0,05)_{2,2} \cong 4.6 \quad (42)$$

- Valor Calculado (VC)

$$VC = 3.9$$

Como

$VC = 3.9 < \frac{p(n-1)}{n-p} F(\alpha)_{p,n-p}$, aceita-se a hipótese básica H_0 a um nível de significância de 5%, que não existe diferença significativa entre os valores encontrados.

- Fevereiro de 2007 e Maio de 2007

- Valor Teórico (VT)

$$VT = \frac{p(n-1)}{n-p} F(\alpha)_{p,n-p} = \frac{2(2-1)}{6-2} F(0,05)_{2,2} \cong 4.6$$

- Valor Calculado (VC)

$$VC = 3.6$$

Como

$VC = 3.6 < \frac{p(n-1)}{n-p} F(\alpha)_{p,n-p}$, aceita-se a hipótese básica H_0 a um nível de significância de 5%, que não existe diferença significativa entre os valores encontrados.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

Analisando os testes realizados verificou-se viabilidade em receber um arquivo de dados via um sistema de *link* rádio e que as rotinas computacionais criadas para decodificar, e organizar os dados tiveram um sucesso pois propiciaram todos os requisitos para que os programas realizassem todos os cálculos e análises propostos neste trabalho.

O programa desenvolvido em plataforma *Matlab* permitiu editar o arquivo enviado pela estação total TCRA 1205 e estruturá-lo para posterior utilização no cálculo das coordenadas.

Para a rede externa, constatou-se com os testes aplicados nas diferentes épocas, sendo a de referência a campanha de Outubro de 2006, que as variações nas coordenadas não são significativas a um nível de significância de 5%.

Os resultados obtidos através da rotina desenvolvida em ambiente *Matlab*, utilizando os conceitos estatísticos serviu para demonstrar que as coordenadas das fissuras (Bloco 5, Bloco 8 e Bloco 11) avaliadas comparando duas campanhas (Outubro 06 Outubro07 e Fevereiro07 Maio07) não variam ao longo do tempo, portanto são estáveis.

Ficou comprovado que com a automação das técnicas geodésicas para a coleta, transferência e análise dos resultados, o monitoramento geodésico de estruturas torna-se uma ferramenta importante para realizar a avaliação de comportamentos de estruturas civis.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se dar continuidade ao monitoramento em campanhas semestrais, para acompanhamento o comportamento estrutural da barragem;

Estudar maneiras de resolver o problema da manutenção da mesma altura do instrumento em todas as campanhas para permitir a determinação da variação da coordenada Z, ou seja, avaliação tridimensional dos alvos implantados junto às fissuras;

Automação do sistema de coleta de dados de pressão atmosférica, temperatura, de forma a minimizar a influência do observador na obtenção dos dados;

Junção das rotinas computacionais, à Jusante e à Montante, para que o programa possa avaliar a estrutura como um todo.

6 REFERÊNCIAS

BRASIL, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Boletim de Serviço, Rio de Janeiro, 01 ago. 1983.

BRASIL, **Ministério do Exército, estado Maior do Exército**, Manual Técnico – Serviço Geográfico. Nivelamento Geométrico. 1975.

BRASIL, **Ministério do Planejamento e Orçamento, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Departamento de Geodésia**. Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos. 1998.

CHAVES, J. C. **Controle de Deformações em Barragens: Métodos de Monitoramento e Viabilidade de Utilização do GPS**. São Paulo. 1994. 197f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

COPEL. Usina Hidroelétrica de Salto Caxias, Copel Geração - **Energia para o terceiro milênio**. 2004. Publicidade.

CROSS, P. Advanced Least Squares applied to positioning - Fixing. Working Paper n. 6. North East London Polytechnic, 1983

DALMOLIN, Q. **Ajustamento por Mínimos Quadrados**. CPGCG - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR. Curitiba: Editora UFPR, 2004.

DEPARTMENT OF ARMY – U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. Manual 1110-1-1004 Deformation Monitoring and Control Surveying. Washington, DC, 1994.

DEPARTMENT OF THE ARMY. **Structural Deformation Surveying**. US Army Corps of Engineers, 2002, Washington, DC. Disponível em : <<http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs/eng-manuals/em1110-2-1009/toc.htm>>.

FAGGION, P. L. **Obtenção dos Elementos de Calibração e Certificação de Medidores Eletrônicos de Distância em Campo e Laboratório**. Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências geodésicas da UFPR, Curitiba, 2001.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. 1. ed. Curitiba: Editora UFPR, 1994.

GRANEMANN, D. **Estabelecimento de uma Rede Geodésica para o Monitoramento de estruturas: estudo de caso na Usina Hidrelétrica Salto Caxias**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2005.

KAHMEN, H.; FAIG, W. S. **Surveying**. Berlim; New York: Walter de Gruyter, 1988.

LUTES, J. A.; CHRZANOWKI, A.; BASTIN, G.; WHITAKER, C. **‘Dimons’ software for automatic data collection and automatic deformation analysis**. The 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements. 2001.

MEDEIROS, Z. F. **Considerações sobre a metodologia de levantamentos altimétricos de alta precisão e propostas para a sua implantação**. Curitiba, 1999. 142f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

NADAL, C. A., VEIGA, L. A. K., FAGGION, P. L., FREITAS, S. R. C. DE, ZOCCLOTTI FILHO, C. A., GRANEMANN, D. C., LOPES, C. R., SANTOS, D. P. DOS. **Integração da Auscultação Geodésica com a Instrumentação de Controle e Segurança da Barragem de Salto Caxias**. Relatório Técnico, Universidade Federal do Paraná, 2004.

NADAL, M. A. D. **Controle e Operação Remota de Estações Totais Robotizadas Voltado à Auscultação Geodésica**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2008.

NIEMAEIR, W. **Datumfree Approach for a Combined 3d Adjustament of Terrestrial and GPS Observations**, Proceedings of First Turkish Symposium on Deformation, Istanbul Turquia., 1994.

PRETORIUS, C. J.; SCHMIDT, W. F.; VAM STADEN, C. S.; EGGER, K. **The Extensive Geodetic System Used For The Monitoring of a 185 Metre High Arch Dam in Southern Africa**. International Symposium Deformation Measurements, 10. 2001 , Orange, California, USA. Disponível em: <http://rincon.gps.caltech.edu/FIG10sym/pdf/Session%20VI_Paper%202.pdf>.

SILVA, A. S. (1997). **Optimisation of surveying monitoring networks**. University of Nottingham: Thesis for the degree of Doctor of Philosophy.

SILVEIRA, João F. A. **Instrumentação e Comportamento de Fundações de Barragens de Concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

WISEU, T. ; ALMEIDA, A. B. **Plano de Emergência Interno de Barragens**. 5º Congresso da Água, Lisboa, 2000.

VEIGA, L.A.K. **Topografia Automatizada**. Curso de Especialização Em Geotecnologias – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. 61f.

VEIGA, L.A.K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L.; **Apostila de Topografia - Módulo I**. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática. Curitiba, 2007.

APÊNDICE

(Rotinas Matlab)

Rede Externa

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% LEITURA DE DADOS DA ESTAÇÃO TOTAL
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% AJUSTAMENTO PELO METODO DE VARIACAO DE COORDENADAS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clear
clc

% Entre com o nome do arquivo repita até que ente com a forma correta
t=0;
while t==0
    entrada = input('Entre com arquivo da época fixa entre apostrofes : ');
    t=ischar(entrada);
end

arquivo = [entrada, '.txt'];

fp=fopen(arquivo, 'r');
reg=fgets(fp);
dados='';

% Le tudo
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
i=1;
while reg ~= -1
    dados=cat(2,dados,reg);
    reg=fgets(fp);

    % Transformar um arquivo para fazer a leitura com fgets
    lin = fopen('linha.txt', 'w');
    fprintf(lin, reg);
    fclose(lin);

    if i==1
        fpp = fopen('linha.txt', 'r');
        DAT = fscanf(fpp, '%f %f %f %f %f');
        fclose(fpp);
        ndist=DAT(1,1); nang=DAT(2,1); nazf=DAT(3,1); cf=DAT(4,1);
        np=DAT(5,1);
    end

    if i==2
        fpp = fopen('linha.txt', 'r');
        CP1 = fscanf(fpp, '%s %f %f');
        fclose(fpp);
        x1=CP1(3,1); y1=CP1(4,1);
    end

    if i==3
        fpp = fopen('linha.txt', 'r');
        CP3 = fscanf(fpp, '%s %f %f');
    end
end

```

```

        fclose(fpp);
        x3=CP3(3,1); y3=CP3(4,1);
    end

    if i==4
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        CP4 = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        x4=CP4(3,1); y4=CP4(4,1);
    end

    if i==5
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        CP6 = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        x6=CP6(3,1); y6=CP6(4,1);
    end

    if i==6
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D34 = fscanf(fpp,'%s %s %f');
        fclose(fpp);
        d34 = D34(5,1);
    end

    if i==7
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D43 = fscanf(fpp,'%s %s %f');
        fclose(fpp);
        d43 = D43(5,1);
    end

    if i==8
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D13 = fscanf(fpp,'%s %s %f');
        fclose(fpp);
        d13 = D13(5,1);
    end

    if i==9
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D31 = fscanf(fpp,'%s %s %f');
        fclose(fpp);
        d31 = D31(5,1);
    end

    if i==10
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D36 = fscanf(fpp,'%s %s %f');
        fclose(fpp);
        d36 = D36(5,1);
    end

    if i==11
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D63 = fscanf(fpp,'%s %s %f');
        fclose(fpp);
    end

```

```

        d63 = D63(5,1);
    end

    if i==12
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D46 = fscanf(fpp,'%s %s %f');
        fclose(fpp);
        d46 = D46(5,1);
    end

    if i==13
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D64 = fscanf(fpp,'%s %s %f');
        fclose(fpp);
        d64 = D64(5,1);
    end

    if i==14
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D14 = fscanf(fpp,'%s %s %f');
        fclose(fpp);
        d14 = D14(5,1);
    end

    if i==15
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D41 = fscanf(fpp,'%s %s %f');
        fclose(fpp);
        d41 = D41(5,1);
    end

    if i==16
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D16 = fscanf(fpp,'%s %s %f');
        fclose(fpp);
        d16 = D16(5,1);
    end

    if i==17
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D61 = fscanf(fpp,'%s %s %f');
        fclose(fpp);
        d61 = D61(5,1);
    end

    if i==18
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        ANG1 = fscanf(fpp,'%s %s %s %f %f %f');
        fclose(fpp);
        a1 = ANG1(7,1) + ANG1(8,1)/60 + ANG1(9,1)/3600;
    end

    if i==19
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        ANG2 = fscanf(fpp,'%s %s %s %f %f %f');
        fclose(fpp);
    end

```

```

    a2 = ANG2(7,1) + ANG2(8,1)/60 + ANG2(9,1)/3600;
end

    if i==20
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        ANG3 = fscanf(fpp,'%s %s %s %f %f %f');
        fclose(fpp);
        a3 = ANG3(7,1) + ANG3(8,1)/60 + ANG3(9,1)/3600;
    end

    if i==21
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        ANG4 = fscanf(fpp,'%s %s %s %f %f %f');
        fclose(fpp);
        a4 = ANG4(7,1) + ANG4(8,1)/60 + ANG4(9,1)/3600;
    end

    if i==22
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        ANG5 = fscanf(fpp,'%s %s %s %f %f %f');
        fclose(fpp);
        a5 = ANG5(7,1) + ANG5(8,1)/60 + ANG5(9,1)/3600;
    end

    if i==23
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        ANG6 = fscanf(fpp,'%s %s %s %f %f %f');
        fclose(fpp);
        a6 = ANG6(7,1) + ANG6(8,1)/60 + ANG6(9,1)/3600;
    end

    if i==24
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        ANG7 = fscanf(fpp,'%s %s %s %f %f %f');
        fclose(fpp);
        a7 = ANG7(7,1) + ANG7(8,1)/60 + ANG7(9,1)/3600;
    end

    if i==25
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        ANG8 = fscanf(fpp,'%s %s %s %f %f %f');
        fclose(fpp);
        a8 = ANG8(7,1) + ANG8(8,1)/60 + ANG8(9,1)/3600;
    end

    if i==26
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        AZ = fscanf(fpp,'%s %s %f %f %f');
        fclose(fpp);
        az = AZ(5,1) + AZ(6,1)/60 + AZ(7,1)/3600;

        break;
    end

    i=i+1;
end
end

```

```

fclose(fp);

d1 = ( d34 + d43 )/2;
d2 = ( d13 + d31 )/2;
d3 = ( d36 + d63 )/2;
d4 = ( d46 + d64 )/2;
d5 = ( d14 + d41 )/2;
d6 = ( d16 + d61 )/2;

a1 = a1*pi()/180;
a2 = a2*pi()/180;
a3 = a3*pi()/180;
a4 = a4*pi()/180;
a5 = a5*pi()/180;
a6 = a6*pi()/180;
a7 = a7*pi()/180;
a8 = a8*pi()/180;

az34 = atan((x4-x3)/(y4-y3));
az13 = atan((x3-x1)/(y3-y1));
az36 = atan((x6-x3)/(y6-y3));
az46 = atan((x6-x4)/(y6-y4));
az14 = atan((x4-x1)/(y4-y1));
az16 = atan((x6-x1)/(y6-y1));

clear ANG1 ANG2 ANG3 ANG4 ANG5 ANG6 ANG7 ANG8
clear D13 D14 D16 D31 D34 D36 D41 D43 D46 D61 D63 D64
clear CP1 CP3 CP4 CP6 AZ DAT reg dados fp fpp lin i ans
clear d13 d31 d34 d43 d36 d63 d46 d64 d14 d41 d16 d61

L = [ sqrt((x3-x4)^2+(y3-y4)^2)- d1
      sqrt((x1-x3)^2+(y1-y3)^2)- d2
      sqrt((x3-x6)^2+(y3-y6)^2)- d3
      sqrt((x4-x6)^2+(y4-y6)^2)- d4
      sqrt((x1-x4)^2+(y1-y4)^2)- d5
      sqrt((x1-x6)^2+(y1-y6)^2)- d6
      (az14-az16) - a1
      (az13-az14) - a2
      (az36-az13) - a3 + pi()
      (az34-az36) - a4
      (az14-az34) - a5
      (az46-az14) - a6 + pi()
      (az36-az46) - a7
      (az16-az36) - a8]

cte = 648000/pi();

k34 = sin(az34);
l34 = cos(az34);
k13 = sin(az13);
l13 = cos(az13);
k36 = sin(az36);
l36 = cos(az36);

```

```

k46 = sin(az46);
l46 = cos(az46);
k14 = sin(az14);
l14 = cos(az14);
k16 = sin(az16);
l16 = cos(az16);

```

```

p14 = cte*cos(az14)/d5;
q14 = cte*sin(az14)/d5;
p16 = cte*cos(az16)/d6;
q16 = cte*sin(az16)/d6;
p13 = cte*cos(az13)/d2;
q13 = cte*sin(az13)/d2;
p31 = -p13;
q31 = -q13;
p36 = cte*cos(az36)/d3;
q36 = cte*sin(az36)/d3;
p34 = cte*cos(az34)/d1;
q34 = cte*sin(az34)/d1;
p43 = -p34;
q43 = -q34;
p41 = -p14;
q41 = -q14;
p46 = cte*cos(az46)/d4;
q46 = cte*sin(az46)/d4;
p63 = -p36;
q63 = -q36;
p64 = -p46;
q64 = -q46;
p61 = -p16;
q61 = -q16;

```

```

A = [      -k34      -l34      k34      l34      0      0
        k13       l13      0      0      0      0
      -k36      -l36      0      0      k36     l36
         0         0    -k46    -l46     k46     l46
         0         0     k14     l14      0      0
         0         0      0      0     k16     l16
         0         0     p14    -q14    -p16     q16
        p13     -q13    -p14     q14      0      0
    (p31-p36) (q36-q31)      0      0     p36    -q36
    (p36-p34) (q34-q36)     p34    -q34    -p36     q36
      -p43      q43    (p43-p41) (q41-q43)      0      0
         0         0    (p41-p46) (q46-q41)     p46    -q46
        p63     -q63     -p64     q64    (p64-p63) (q63-q64)
      -p63      q63      0      0    (p63-p61) (q61-q63) ]

```

```

dp_d1 = 0.002 + 2*(d1/1000000);
dp_d2 = 0.002 + 2*(d2/1000000);
dp_d3 = 0.002 + 2*(d3/1000000);
dp_d4 = 0.002 + 2*(d4/1000000);
dp_d5 = 0.002 + 2*(d5/1000000);
dp_d6 = 0.002 + 2*(d6/1000000);
dp_a = 1.454441e-005; %( 3'' em radianos)

```

```

ELb = [ dp_d1^2      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
         0      dp_d2^2 0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0

```

```

0      0      dp_d3^2 0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
0      0      0      dp_d4^2 0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
0      0      0      0      dp_d5^2 0      0      0      0      0      0      0      0      0
0      0      0      0      0      dp_d6^2 0      0      0      0      0      0      0      0
0      0      0      0      0      0      dp_a^2 0      0      0      0      0      0      0
0      0      0      0      0      0      0      dp_a^2 0      0      0      0      0      0
0      0      0      0      0      0      0      0      dp_a^2 0      0      0      0      0
0      0      0      0      0      0      0      0      0      dp_a^2 0      0      0      0
0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      dp_a^2 0      0      0
0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      dp_a^2 0
0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      dp_a^2];

P = inv(ELb);

% CALCULO DA SOLUCAO

COORD_INI = [ x3
              y3
              x4
              y4
              x6
              y6]

X = - inv(A'*P*A) * (A'*P*L)

COORD_FINAL = COORD_INI + X

V=A*X+L

sp=(V'*P*V)/(14-6)

EX=sp*inv(A'*P*A);

clear a1 a2 a3 a4 a5 a6 a7 a8 t
clear d1 d2 d3 d4 d5 d6
clear az13 a14 a16 az34 az36 az46
clear k13 k14 k16 k34 k36 k46 l13 l14 l16 l34 l36 l46 l14 l16
clear p13 p14 p16 p31 p34 p36 p41 p43 p46 p61 p63 p64
clear q13 q14 q16 q31 q34 q36 q41 q43 q46 q61 q63 q64
clear dp_a dp_d1 dp_d2 dp_d3 dp_d4 dp_d5 dp_d6

save(entrada,'COORD_INI','X', 'COORD_FINAL', 'V', 'sp', 'EX')

% TESTE DO QHI QUADRADO
n = 14;          % observacoes
u = 6 ;          % incognitas

sp = sp;          % varianacia aposteriori = sp

```



```

sa = 1;          % variancia apriori = 1

nc = 10;         % nivel de confiança

si=chi2inv(0.5*nc/100,(n-u));
ss=chi2inv(1-0.5*nc/100,(n-u));

st=(n-u)*sp/sa;

%if st<si | st>ss
%   teste_iguais='Hipotese Básica var_apriori = var_posteriori ...
Rejeitado'
%else
%   teste_iguais='Hipotese Básica var_apriori = var_posteriori ... Aceito'

%end

% SALAVANDO AS COORDENADAS FINAIS NO ARQUIVO teste.txt

%save('teste.txt', 'COORD_FINAL', '-ASCII');

diary teste.txt % salavando a tela do comando window
fprintf('%9.9f %9.9f %9.9f %9.9f %9.9f %9.9f\n', [COORD_FINAL(1),
COORD_FINAL(2), COORD_FINAL(3), COORD_FINAL(4), COORD_FINAL(5),
COORD_FINAL(6)]);
diary off

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% teste estatístico de fisher
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clc
clear

% Entre com o nome do arquivo
t=0;
while t==0
    entrada1 = input('Entre nome arquivo.mat da epoca 1: ');
    t=ischar(entrada1);
end
load(entrada1)
sp1 = sp;
clear COORD_INI X COORD_FINAL V sp EX

% Entre com o nome do arquivo
t=0;
while t==0
    entrada2 = input('Entre nome arquivo.mat da epoca 2: ');
    t=ischar(entrada2);
end
load(entrada2)
sp2 = sp;
clear COORD_INI X COORD_FINAL V sp EX

num=max(sp1,sp2);
den=min(sp1,sp2);

F = num/den

Ftab = 3.438;    % o 5% foi Unicaldal
if F > Ftab
    resultado = sprintf('O teste é rejeitado, ou seja, teve deformação
(5/100 nível de significancia)')
else
    resultado = sprintf('O teste aceito, ou seja, não teve deformação (5/100
nível de significancia)')
end

```

Fissuras

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% LEITURA DE DADOS DA ESTAÇÃO TOTAL
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% CALCULO DAS FISSURAS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear

% Etre com o nomedo arquivot=0;
while t==0
    entrada = input('Entre com arquivo da época da fissura : ');
    t=ischar(entrada);
end

arquivo = [entrada, '.txt'];

fp=fopen(arquivo, 'r');
reg=fgets(fp);
dados='';

% Le tudo
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
i=1;
while reg ~= -1
    dados=cat(2,dados,reg);
    reg=fgets(fp);

    % Transformar a um arquivo para fazer a leitura com fgets
    lin = fopen('linha.txt','w');
    fprintf(lin,reg);
    fclose(lin);

    if i==1
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        DAT = fscanf(fpp,'%s %f');
        fclose(fpp);
        az=DAT(4,1);
        clear DAT
    end

    if i==2
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        HP1 = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        hzpl=HP1(4,1); dp_hzpl=HP1(5,1);
        clear HP1
    end

    if i==3
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        AV = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        avpl=AV(4,1); dp_avpl=AV(5,1);
        clear AV
    end
end

```

```

end

if i==4
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    D = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    dip1=D(4,1);    dp_dip1=D(5,1);
    clear D
end

if i==5
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    CP1 = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    xpl=CP1(4,1);    yp1=CP1(5,1);
    clear D
end

if i==6
end

if i==7
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    A = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    az_A =A(6,1);
    clear A
end

if i==8
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    A = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    hz_A =A(6,1);    dphz_A=A(7,1);
    clear A
end

if i==9
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    A = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    av_A =A(6,1);    dpav_A=A(7,1);
    clear A
end

if i==10
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    A = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    di_A =A(6,1);    dpdi_A=A(7,1);
    clear A
end

if i==11
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    A = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    x_A =A(6,1);    y_A=A(7,1);
    clear A
end

```

```

end

if i==12
end

if i==13
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    B    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    az_B =B(6,1);
    clear B
end

if i==14
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    B    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    hz_B =B(6,1);    dphz_B=B(7,1);
    clear B
end

if i==15
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    B    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    av_B =B(6,1);    dpav_B=B(7,1);
    clear B
end

if i==16
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    B    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    di_B =B(6,1);    dpdi_B=B(7,1);
    clear B
end

if i==17
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    B    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    x_B =B(6,1);    y_B=B(7,1);
    clear B
end

if i==18
end

if i==19
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    C    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    az_C =C(6,1);
    clear C
end

if i==20
    fpp = fopen('linha.txt','r');

```

```

        C = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        hz_C =C(6,1);  dphz_C=C(7,1);
        clear C
    end

    if i==21
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        C = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        av_C =C(6,1);  dpav_C=C(7,1);
        clear C
    end

    if i==22
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        C = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        di_C =C(6,1);  dpdi_C=C(7,1);
        clear C
    end

    if i==23
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        C = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        x_C =C(6,1);  y_C=C(7,1);
        clear C
    end

    if i==24
    end

    if i==25
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        az_D =D(6,1);
        clear D
    end

    if i==26
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        hz_D =D(6,1);  dphz_D=D(7,1);
        clear D
    end

    if i==27
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        av_D =D(6,1);  dpav_D=D(7,1);
        clear D
    end

    if i==28
        fpp = fopen('linha.txt','r');

```

```

        D    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        di_D =D(6,1);  dpdi_D=D(7,1);
        clear D
    end

    if i==29
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        D    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        x_D =D(6,1);  y_D=D(7,1);
        clear D
    end

    if i==30
    end

    if i==31
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        E    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        az_E =E(6,1);
        clear E
    end

    if i==32
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        E    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        hz_E =E(6,1);  dphz_E=E(7,1);
        clear E
    end

    if i==33
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        E    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        av_E =E(6,1);  dpav_E=E(7,1);
        clear E
    end

    if i==34
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        E    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        di_E =E(6,1);  dpdi_E=E(7,1);
        clear E
    end

    if i==35
        fpp = fopen('linha.txt','r');
        E    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
        fclose(fpp);
        x_E =E(6,1);  y_E=E(7,1);
        clear E
    end

    if i==36
    end

```

```

if i==37
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    F    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    az_F =F(6,1);
    clear F
end

if i==38
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    F    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    hz_F =F(6,1);    dphz_F=F(7,1);
    clear F
end

if i==39
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    F    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    av_F =F(6,1);    dpav_F=F(7,1);
    clear F
end

if i==40
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    F    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    di_F =F(6,1);    dpdi_F=F(7,1);
    clear F
end

if i==41
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    F    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    x_F =F(6,1);    y_F=F(7,1);
    clear F
end

if i==42
end

if i==43
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    G    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    az_G =G(6,1);
    clear G
end

if i==44
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    G    = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    hz_G =G(6,1);    dphz_G=G(7,1);
    clear G
end

```



```

if i==45
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    G = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    av_G =G(6,1);  dpav_G=G(7,1);
    clear G
end

if i==46
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    G = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    di_G =G(6,1);  dpdi_G=G(7,1);
    clear G
end

if i==47
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    G = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    x_G =G(6,1);  y_G=G(7,1);
    clear G
end

if i==48
end

if i==49
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    H = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    az_H =H(6,1);
    clear H
end

if i==50
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    H = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    hz_H =H(6,1);  dphz_H=H(7,1);
    clear H
end

if i==51
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    H = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    av_H =H(6,1);  dpav_H=H(7,1);
    clear H
end

if i==52
    fpp = fopen('linha.txt','r');
    H = fscanf(fpp,'%s %f %f');
    fclose(fpp);
    di_H =H(6,1);  dpdi_H=H(7,1);
    clear H
end

```

[illegible]

[illegible]

```

Ddhaz = [cos(az_C*pi/180)    -dh_C*sin(az_C*pi/180)
          sin(az_C*pi/180)    dh_C*cos(az_C*pi/180)];

Edhaz = [var_dh_C    0
          0    var_az_C];

Exy    = Ddhaz*Edhaz*Ddhaz';

dp_x_C = sqrt(Exy(1,1));
dp_y_C = sqrt(Exy(2,2));

% Calculo da precisão do Azimut D
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
DD = [1 -1];

Ehz = [(dphz_D*pi/180)^2    0
        0    (dp_hzp1*pi/180)^2];

var_az_D = DD*Ehz*DD';

% Calculo da precisão da distância horizontal D
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Dd = [sin(av_D*pi/180) di_D*cos(av_D*pi/180)];

Ed = [dpdi_D^2    0
        0    (dpav_D*pi/180)^2];

var_dh_D = Dd*Ed*Dd';

% Calculo da precisão das coordenadas D
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
dh_D = di_D*sin(av_D);

Ddhaz = [cos(az_D*pi/180)    -dh_D*sin(az_D*pi/180)
          sin(az_D*pi/180)    dh_D*cos(az_D*pi/180)];

Edhaz = [var_dh_D    0
          0    var_az_D];

Exy    = Ddhaz*Edhaz*Ddhaz';

dp_x_D = sqrt(Exy(1,1));
dp_y_D = sqrt(Exy(2,2));

% Calculo da precisão do Azimut E
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
DE = [1 -1];

Ehz = [(dphz_E*pi/180)^2    0
        0    (dp_hzp1*pi/180)^2];

var_az_E = DE*Ehz*DE';

```

```

% Calculo da precisão da distância horizontal E
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Dd = [sin(av_E*pi/180) di_E*cos(av_A*pi/180)];

Ed = [dpdi_E^2 0
      0 (dpav_E*pi/180)^2];

var_dh_E = Dd*Ed*Dd';

% Calculo da precisão das coordenadas E
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
dh_E = di_E*sin(av_E);

Ddhaz = [cos(az_E*pi/180) -dh_E*sin(az_A*pi/180)
         sin(az_E*pi/180)  dh_E*cos(az_E*pi/180)];

Edhaz = [var_dh_E 0
         0 var_az_E];

Exy = Ddhaz*Edhaz*Ddhaz';

dp_x_E = sqrt(Exy(1,1));
dp_y_E = sqrt(Exy(2,2));

% Calculo da precisão do Azimut F
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
DF = [1 -1];

Ehz = [(dphz_F*pi/180)^2 0
      0 (dp_hzp1*pi/180)^2];

var_az_F = DF*Ehz*DF';

% Calculo da precisão da distância horizontal F
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Dd = [sin(av_F*pi/180) di_F*cos(av_F*pi/180)];

Ed = [dpdi_F^2 0
      0 (dpav_F*pi/180)^2];

var_dh_F = Dd*Ed*Dd';

% Calculo da precisão das coordenadas F
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
dh_F = di_F*sin(av_F);

Ddhaz = [cos(az_F*pi/180) -dh_F*sin(az_F*pi/180)
         sin(az_F*pi/180)  dh_F*cos(az_F*pi/180)];

Edhaz = [var_dh_F 0
         0 var_az_F];

```

```

Exy = Ddhaz*Edhaz*Ddhaz';

dp_x_F = sqrt(Exy(1,1));
dp_y_F = sqrt(Exy(2,2));

% Calculo da precisão do Azimut G
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
DG = [1 -1];

Ehz = [(dphz_G*pi/180)^2 0
        0 (dp_hzpl*pi/180)^2];

var_az_G = DG*Ehz*DG';

% Calculo da precisão da distância horizontal G
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Dd = [sin(av_G*pi/180) di_G*cos(av_G*pi/180)];

Ed = [dpdi_G^2 0
        0 (dpav_G*pi/180)^2];

var_dh_G = Dd*Ed*Dd';

% Calculo da precisão das coordenadas G
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
dh_G = di_G*sin(av_G);

Ddhaz = [cos(az_G*pi/180) -dh_G*sin(az_G*pi/180)
          sin(az_G*pi/180)  dh_G*cos(az_G*pi/180)];

Edhaz = [var_dh_G 0
          0 var_az_G];

Exy = Ddhaz*Edhaz*Ddhaz';

dp_x_G = sqrt(Exy(1,1));
dp_y_G = sqrt(Exy(2,2));

% Calculo da precisão do Azimut H
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
DH = [1 -1];

Ehz = [(dphz_H*pi/180)^2 0
        0 (dp_hzpl*pi/180)^2];

var_az_H = DH*Ehz*DH';

% Calculo da precisão da distância horizontal H
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Dd = [sin(av_H*pi/180) di_H*cos(av_H*pi/180)];

Ed = [dpdi_H^2 0
        0 (dpav_H*pi/180)^2];

```

```

var_dh_H = Dd*Ed*Dd';

% Calculo da precisão das coordenadas H
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
dh_H = di_H*sin(av_H);

Ddhaz = [cos(az_H*pi/180)    -dh_H*sin(az_H*pi/180)
          sin(az_H*pi/180)    dh_H*cos(az_H*pi/180)];

Edhaz = [var_dh_H    0
          0    var_az_H];

Exy = Ddhaz*Edhaz*Ddhaz';

dp_x_H = sqrt(Exy(1,1));
dp_y_H = sqrt(Exy(2,2));

COORD = [ x_A y_A dp_x_A dp_y_A
           x_B y_B dp_x_B dp_y_B
           x_C y_C dp_x_C dp_y_C
           x_D y_D dp_x_D dp_y_D
           x_E y_E dp_x_E dp_y_E
           x_F y_F dp_x_F dp_y_F
           x_G y_G dp_x_G dp_y_G
           x_H y_H dp_x_H dp_y_H];

save(entrada, 'COORD')
%clear

```

```

% Programa para análise de fissuras

% Modificação 19-02-2008
% Ricardo Vilar Neves

% Abrindo o arquivo em um caminho específico

clear
clc
% ABRIR O PRIMEIRO ARQUIVO (ÉPOCA 1)
[Nome, Caminho] = uigetfile({'*.mat'}, 'Escolha um arquivo com os dados' );
if ~ischar(Nome) % Verifica se algum dado foi fornecido
warndlg('Nome do arquivo não fornecido.', 'Aviso');
break;
else
Arquivo=fullfile(Caminho,Nome); % Compoe nome do arquivo
COO1=importdata(Arquivo);
end

% ABRIR O SEGUNDO ARQUIVO (ÉPOCA 2)
[Nome, Caminho] = uigetfile({'*.mat'}, 'Escolha um arquivo com os dados' );
if ~ischar(Nome) % Verifica se algum dado foi fornecido
warndlg('Nome do arquivo não fornecido.', 'Aviso');
break;
else
Arquivo=fullfile(Caminho,Nome); % Compoe nome do arquivo
COO2=importdata(Arquivo);
end

%Compondo os vetores diferenças e suas mvc's

[l,c]=size(COO1);

X1=COO1(1:l,1);
Y1=COO1(1:l,2);
sx1=COO1(1:l,3);
sy1=COO1(1:l,4);

X2=COO2(1:l,1);
Y2=COO2(1:l,2);
sx2=COO2(1:l,3);
sy2=COO2(1:l,4);

d=zeros(2*l,1);
i=1;
for j=1:l
d(i)=X2(j)-X1(j);
d(i+1)=Y2(j)-Y1(j);

Qd(i)=sx1(j)+sx2(j);
Qd(i+1)=sy2(j)+sy1(j);
i=i+2;
end

```



```

Qd=diag(Qd);

OM=d'*inv(Qd)*d;

%f tab
% n número de pontos (8)
% p numero de variaveis (2)
% ft=(p*(n-1)/(n-p))*finv(1-alpha,p,n-p);
n=1;
p=2;

ft=(p*(n-1)/(n-p))*finv(0.95,p,n-p);

if OM>ft
    tt='O teste é rejeitado, ou seja, teve deformação (5/100 nivel de
significancia)';
else
    tt='O teste aceito, ou seja, não teve deformação (5/100 nivel de
significancia)';
end

fprintf('Calculado = %2.2f\n',OM);
fprintf('Tabelado = %2.2f\n',ft);
fprintf('%s\n',tt);

```